

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Modernizace řídicího systému vytápění žíhací
vozové pece.**

**Modernization of the control system of annealing
furnace wagon.**

Zadání bakalářské práce

Student:

Marek Špila

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

Modernizace řídicího systému vytápění žíhací vozové pece
Modernization of the Control System of Annealing Furnace Wagon

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Žíhací vozová pec s řízeným ohřevem je určena k tepelnému zpracování žíhaného materiálu. Cílem práce je náhrada jejího stávajícího, nevyhovujícího řídicího systému novým systémem na bázi programovatelného automatu. V rámci řešení bude realizován návrh, realizace a ověření funkčnosti řídicí aplikace.

Body zadání:

1. Seznámení se s technologií a způsobem provozování žíhací vozové pece.
2. Funkční analýza řízeného systému.
3. Návrh koncepce řídicího systému žíhací vozové pece.
4. Návrh a realizace řídicí aplikace pro programovatelný automat.
5. Ověření funkčnosti regulace teploty v žíhací peci.
6. Zhodnocení výsledků řešení práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KALANI, Ghodrat. *Industrial process control: advances and applications*. Boston: Butterworth-Heinemann, c2002, xiii, 182 s. ISBN 0-7506-7446-6.
- [2] MÜLLER, Jürgen, Frank NEUMANN a Bernd PFEIFFER. *Controlling with SIMATIC: practice book for SIMATIC S7 and SIMATIC PCS7 control systems*. Erlangen: Publicis, c2005, 162 s. ISBN 3-89578-255-6.
- [3] NOSKIEVIČ, Petr. *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: Montanex, 1999, iv, ii, 276 s. ISBN 80-7225-030-2.
- [4] KAMEL, Khaled a Eman KAMEL. *Programmable logic controllers: industrial control*. New York: McGraw-Hill Education, c2014, x, 419 s. ISBN 978-0-07-181045-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

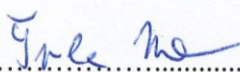


prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě: 26.4.2016



podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Koziorkovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při zpracovávání této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za oporu a zázemí.

Abstrakt

Žihací vozová pec s řízeným ohřevem je určena k tepelnému zpracování žíhaného materiálu. Cílem této bakalářské práce je náhrada jejího stávajícího nevyhovujícího řídicího systému novým systémem na bázi programovatelného automatu. Jelikož stávající zařízení, které bylo zapojeno na původní řídicí systém, musí zůstat zachováno, je nutné specifikovat veškeré požadavky a poté provést patřičné úpravy. Tyto úpravy se týkají zejména oblasti měření teploty v peci, režimu zadávání technologických žihacích programů, regulace teploty v peci a cyklického ovládání hořáků. Bude také provedena funkční analýza a identifikace řízeného systému. V rámci řešení bude realizován návrh, realizace a ověření funkčnosti řídicí aplikace.

Klíčová slova

Automatické řízení, identifikace, programovatelný logický automat, měření a regulace teploty v peci.

Abstract

Annealing furnace wagon furnace with controlled heating is intended for the thermal treatment of annealed material. The aim of this work is to replace its existing, unsatisfactory control system of the new system based on programmable logic controller. As the existing facility, which was connected to the original control system must be retained, it is necessary to specify all the requirements and then make appropriate adjustments. These modifications concern mainly the measurement of temperature in the furnace, annealing mode input technology programs, regulation of temperature in the furnace burners and cyclic control. It will also be a functional analysis and identification of the controlled system. As part of the solution will be implemented design, implementation and verification of the control application.

Keywords

Automatic control, identification, Programmable Logic Controller, measurement and regulation of temperature in the furnace.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam ilustrací.....	10
Úvod	11
1 Seznámení se s technologií a způsobem provozování žíhací vozové pece.....	12
1.1 Základní technické hodnoty zařízení a parametry materiálu	12
1.2 Popis částí žíhací vozové pece.....	13
1.3 Aktuální stav žíhací vozové pece.....	15
2 Funkční analýza řízeného systému.	16
2.1 Měření přechodové charakteristiky	17
2.2 Realizace skokového signálu akční veličiny	18
2.3 Identifikace řízeného systému	18
3 Návrh koncepce řídicího systému žíhací vozové pece	21
3.1 Hlavní požadavky na náhradní systém	22
3.2 Výběr programovatelného automatu.....	22
3.3 Úprava stávajícího měření teploty v peci.....	24
3.4 Obsluha žíhacích programů pro zadaný typ vsázky	26
3.4.1 Volba a spuštění uloženého žíhacího programu	27
3.4.2 Vytvoření, nebo úprava žíhacích programů	27
3.5 Regulace teploty v peci a cyklické spínání hořáků	28
3.6 Ovládání hořáků logickými výstupními signály pomocí stávajících hořákových automatik.....	28
4 Návrh a realizace řídicí aplikace pro programovatelný automat	29
4.1 Zadání pro řídicí aplikaci	29
4.2 Návrh řídicí aplikace.....	29
4.3 Návrh a rozbor funkce jednotlivých podprogramů řídicí aplikace.	31

5	Ověření funkčnosti regulace teploty v žíhací peci	38
5.1	Optimální seřízení regulace teploty	38
5.1.1	Konstanty regulátoru	39
5.1.2	Perioda časování regulátoru	40
5.1.3	Minimální doba povelu	40
5.1.4	Parametry technologických programů	40
5.2	Ověření funkčnosti regulace teploty	41
5.2.1	Zkušební program č. 1	42
5.2.2	Technologický program č. 1	45
5.2.3	Zkušební program č. 2	46
5.2.4	Technologický program č. 2	47
6	Zhodnocení výsledků řešení práce	49
	Seznam použité a studované literatury	51
	Seznam příloh	52

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC	střídavá veličina
BCD	Binárně kódované decimální číslo (z anglického Binary Code Decimal)
DC	stejnoseměrná veličina
$DH-485$	uzavřený komunikační protokol Allen Bradley
DN	jmenovitý průměr potrubí
e	regulační odchylka
$Ident$	nástroj programu Matlab pro identifikaci regulovaných soustav
$G(s)$	(obrazový) L přenos (Laplaceův přenos), L obraz (spojité) impulsní funkce
$G(z)$	diskrétní (obrazový) Z přenos, Z obraz diskrétní impulsní funkce
KD	derivační (diferenční) konstanta pro přírůstkový regulátor v řídicí aplikaci
K_d	derivační časová konstanta pro PID regulátor
KI	integrační (sumační) konstanta pro přírůstkový regulátor v řídicí aplikaci
K_i	integrační časová konstanta pro PID regulátor
KP	proporcionální konstanta pro přírůstkový regulátor v řídicí aplikaci
K_p	proporcionální konstanta pro PID regulátor
k_r	zesílení regulátoru
MaR	měření a regulace
$Matlab$	interaktivní programové prostředí pro vědeckotechnické výpočty
PC	osobní počítač (z anglického personal computer)
PID	standartní spojitý regulátor (regulátor s pevně danou strukturou)
$Pidtune$	nástroj programu Matlab pro výpočet stavitelných konstant regulátoru
PLC	programovatelný logický automat (z anglického Programmable Logic Controller)
PSD	diskrétní náhrada spojitého PID regulátoru
PV	naměřená hodnota (z anglického prevue value)
PWM	pulsní šířková modulace
q	koefficient v čitateli přenosu číslicového PSD regulátoru
$RS-232$	sériový port, komunikační rozhraní
$RSLogix$	vývojové prostředí od firmy Rockwell Automation
S	typ termoelektrického snímače teploty
$Simulink$	nadstavba Matlabu pro simulaci a modelování dynamických systémů
$smart$	inteligentní snímač
SP	žádaná hodnota (z anglického set point)
T	časová konstanta
T_D	derivační časová konstanta
T_I	integrační časová konstanta
T_s	perioda vzorkování
u	vstupní veličina regulované soustavy (výstupní akční veličina regulátoru)
y	výstupní veličina regulované soustavy
ξ	součinitel poměrného tlumení

Seznam ilustrací

Obr. 1.1 Žíhací vozová pec	13
Obr. 2.1 Měřicí ústředna iM1610 od firmy BMC	17
Obr. 2.2 Naměřená přechodová charakteristika při současném zapnutí 2 hořáků	18
Obr. 2.3 Nástroj Ident v Matlabu	19
Obr. 2.4 Porovnání naměřené a vypočtené přechodové charakteristiky	19
Obr. 3.1 Sestava PLC Allen Bradley SLC 500	24
Obr. 3.2 Blokové schéma měření teploty v peci	24
Obr. 3.3 Izolovaný převodník pro termočlánky typu PP03	25
Obr. 3.4 Digitální ukazatel DMP01	25
Obr. 3.5 Příklad technologického programu žíhané vsázky	26
Obr. 3.6 Panel zobrazení teploty v peci a volby technologického programu	28
Obr. 4.1 Diagram funkční struktury řídicí aplikace	30
Obr. 4.2 Vývojový diagram volby technologických programů	31
Obr. 4.3 Vývojový diagram výběru aktuálního úseku	32
Obr. 4.4 Vývojový diagram výpočtu naměřené a žádané teploty v peci	32
Obr. 4.5 Vývojový diagram ovládání programu	33
Obr. 4.6 Vývojový diagram regulátoru	34
Obr. 4.7 Vývojový diagram volby počtu aktivních hořáků	35
Obr. 4.8 Vývojový diagram cyklovače	36
Obr. 4.9 Vývojový diagram zapínání hořáků	37
Obr. 4.10 Vývojové prostředí RSLogix 500	37
Obr. 5.1 Model regulátorů v Simulinku	41
Obr. 5.2 Průběhy porovnávaných simulovaných regulátorů v Simulinku	42
Obr. 5.3 Detail průběhů porovnávaných simulovaných regulátorů v Simulinku	42
Obr. 5.4 Porovnání průběhů regulátoru v PLC a Simulinku	43
Obr. 5.5 Detail porovnání průběhů regulátoru v PLC a Simulinku	44
Obr. 5.6 Zkouška technologického programu č.1	45
Obr. 5.7 Detail zkoušky technologického programu č.1	45
Obr. 5.8 Zkušební program č.2	46
Obr. 5.9 Detail zkušebního programu č.2	46
Obr. 5.10 Zkouška technologického programu č. 2	47
Obr. 5.11 Detail zkoušky technologického programu č. 2	47
Obr. 5.12 Náhled do pece po ukončení technologického programu	48

Úvod

Tato práce se zabývá problematikou měření a regulace teploty v žíhací vozové peci s využitím programovatelného logického automatu.

Žíhací vozová pec s řízeným ohřevem je určena k tepelnému zpracování žíhané vsázky. Tato vsázka se používá jako nářadí pro výrobní stroje provozní linky. Pro kvalitní zpracování vsázky je potřeba, aby byla dodržena tepelná žíhací křivka pro daný druh materiálu. Na správném provedení technologického zpracování závisí doba využití vsázky ve výrobních strojích. Bez nevyhovujícího řídicího systému ovšem nelze danou pec provozovat, musí být tedy nahrazen novým.

Nejpoužívanějším automatizačním prostředkem v průmyslu je programovatelný automat (PLC). V automatizační technice jsou využívány již zhruba 30 let. Jejich typickou vlastností je programovatelnost na úrovni blízké mentalitě konstruktéra nebo projektanta. Původně byly PLC určeny pro řízení strojů, jako náhrada za pevnou reléovou logiku. Tomu odpovídal i programovací jazyk kontaktních (reléových) schémat. Jazyky prvních PLC disponovaly několika příkazy, které byly ekvivalentní spínacímu a rozpínacímu kontaktu, paralelnímu a sériovému řazení, cívice, obvodům paměti, čítače a časovače. Dnes je pro každý programovatelný automat k dispozici několik typů jazyků: kromě jazyka kontaktních schémat to bývá jazyk logických schémat, nebo jiný textový jazyk, nově i jazyk sekvenčního programování.

Dnešní programovací jazyky jsou podstatně bohatší – bohužel se poněkud vzdálily mentalitě konstruktérů a projektantů, takže vznikla samostatná profese „programátor PLC“.

Programovatelnost a variabilnost výstavby poskytuje PLC jejich pověstnou univerzálnost a přizpůsobivost. Již neplatí, že PLC řešil jen logické úlohy, zatímco ke zpracování analogových veličin se používaly specializované regulátory. PLC dnes zvládne oba typy úloh (a mnoho dalších). Programem PLC lze realizovat vazby a ošetřit logické souvislosti, které jsou při použití specializovaných (uzavřených) přístrojů.

Takto lze například řešit vazby mezi regulací různých veličin (třeba teploty a vlhkosti, teploty a kvality spalování, teploty a dodržení sjednané spotřeby) nebo optimalizovat proces a přizpůsobovat jej měnícím se podmínkám, minimalizovat spotřebu, náklady nebo ztráty.

Strojírenský podnik, ve kterém budu práci zpracovávat, je stálým výrobcem s podílem na světové výrobě švových a bezešvých trubek, které jsou využívány v těžkém průmyslu při těžbě ropy a zemního plynu. Podnik si nepřeje zveřejňovat název, proto v celé práci bude uveden obecný název – strojírenský podnik.

1 Seznámení se s technologií a způsobem provozování žíhací vozové pece.

Na počátku bakalářské práce bude popsána technologie, základní technické parametry, z jakých základních částí se žíhací vozová pec skládá a její způsob provozování [13].

1.1 Základní technické hodnoty zařízení a parametry materiálu

Technické hodnoty zařízení

Maximální teplota v pracovním prostoru	950 °C
Rozměry pece:	
- užitečná šířka	1500 mm
- užitečná výška	1000 mm
- užitečná délka	3000 mm
Maximální vsázka na vůz	5 tun (bez žíhacích podložek)
Příkon pece	600 kW
Topný plyn	koksový plyn
Tlak plynu na hlavním uzávěru pece	4,5 - 5,5 kPa
Maximální spotřeba plynu (průtok)	135 m ³ . h ⁻¹
Hlavní přívod topného plynu	DN 80
Počet a druh hořáků	6 hořáků
Typ hořáku	vysokorychlostní C20 - ŠKODA
Počet regulačních zón	1
Způsob regulace hořáků	„Max - min - 0“ cyklické spínání
Způsob regulace pece	programová
Tlak spalovacího vzduchu	3,9 – 4,0 kPa
Blokovací hodnoty - plyn	1500 – 5000 Pa
- vzduch	2500 – 6000 Pa
Rok uvedení do provozu	1990

Parametry materiálu

Tolerance rozložení teploty při 400 - 950 °C	±15 °C
Maximální rychlost ohřevu vsázky 5t	225 °C/h

1.2 Popis částí žíhací vozové pece

Žíhací vozová pec s řízeným ohřevem je určena k tepelnému zpracování vsázky do maximální teploty 950 °C v pracovním prostoru.



Obr. 1.1 Žíhací vozová pec

Je komorového provedení, s dveřmi v čelní straně. Vsázka, potřebná k tepelnému zpracování, se skládá na vůz, který po kolejích zajíždí do pece dveřním otvorem. V bočních stranách pece jsou horizontálně nad úroveň vozu umístěny hořáky pro spalování koksového plynu, vybavené elektrickým zapalováním a hlídáním plamene. Spaliny jsou z pracovního prostoru pece odváděny přes přerušovač tahu do komína.

Pro řízení a kontrolu tepelného režimu je pec vybavena dále uvedeným zařízením:

Rozvaděč měření

Centrální rozvaděč měření je sestaven z 2 polí typových dílů uzavřeného skříňového provedení s otevíratelnými čelními panely. Jsou v něm zabudovány přístroje pro měření, kontrolu provozu pece a pro styk s obsluhou.

Společné příslušenství rozvaděče

Rozvaděč je vybaven hlavním vypínačem, hlavním stabilizovaným zdrojem napětí pro napájení měřících, regulačních a řídicích přístrojů.

Společná signalizace

Pro hlášení všech důležitých poruchových stavů slouží poruchová signalizace.

Jsou v ní opticky a akusticky hlášeny tyto poruchové stavy:

- minimální a maximální tlak koksového plynu
- minimální a maximální tlak spalovacího vzduchu
- maximální teplota v peci
- výpadek elektrického napájení
- poruchy hořáků č. 1 až 6

Všechny výše uvedené signály, kromě poruch jednotlivých hořáků, odstaví pec z provozu.

Ovládání ventilátoru

Ventilátor spalovacího vzduchu se ovládá tlačítky z prvního pole centrálního rozvaděče. Na tomto rozvaděči je rovněž indikován stav ventilátoru. Vypnutí ventilátoru bez zásahu obsluhy je charakterizováno jako porucha.

Spotřeba plynu a vzduchu

Spotřeby, resp. množství plynu a vzduchu pro hlavní hořáky jsou měřeny pomocí měřících clon. Okamžité průtoky, charakterizované velikostí tlakového rozdílu na cloně, jsou ve snímačích diferenčního tlaku převáděny na elektrické proudové signály. Po jejich úpravě v odmocňovacích a integračních členech je spotřeba plynu a vzduchu ukazována v poli centrálního rozvaděče.

Tlak plynu a vzduchu

Tlak plynu a vzduchu je průběžně snímán tlakovými snímači v přívodním potrubí a jejich hodnoty jsou zobrazovány na digitálních ukazatelích v prvním poli centrálního rozvaděče. Pokles tlaku plynu a vzduchu pod dovolenou mez je signalizován a způsobí odstavení vytápění pece.

Blokování topení

Provoz hořáků pece je jistěn blokováním na správný tlak plynu a spalovacího vzduchu, dále na maximální teplotu v peci a předchozí propláchnutí hořákových kamenů.

Ovládání topení – programové řízení

Teplotní režim pece je řízen programátorem podle technologického programu žádaných hodnot. Tento přístroj umožňuje jednoduché vkládání číselných hodnot, charakterizujících žádaný průběh teploty v peci, což je po částech lineární funkce času a dat.

Vlastní programování se provádí číslicovými přepínači, kterými se nastavuje číslo úseku, požadovaná teplota v °C, požadovaný čas v hodinách, minutách a sekundách. Naprogramované údaje se zobrazují postupně na číslicovém indikátoru. Po spuštění programu tlačítkem na programátoru se na výstupu přístroje objeví analogový výstupní proudový signál odpovídající požadované teplotě a na logických výstupech impulsy, kterými se ovládá topení pece.

Dosažením konce programové křivky se program ukončí.

Automatická regulace teploty v peci

Teplota v peci, snímaná platinovým termoelektrickým článkem typu „S“, je v převodníku upravena na výstupní proudový signál, který je přiveden na regulátor teploty. Na druhý vstup regulátoru je přiveden analogový proudový signál z programátoru teploty odpovídající žádané hodnotě teploty. V regulátoru jsou oba signály porovnávány a jeho výstupní signál, odpovídající velikosti a smyslu regulační odchylky, je zaveden na vstup modulu pro cyklické ovládání hořáků. Termočlánek je umístěn ve střešní klenbě tak, aby měřená teplota nebyla ovlivňována sálajícím teplem z hořáků.

Na čelní straně cyklovače je indikováno světelnými diodami, které hořáky jsou právě v provozu. Logické výstupy z řídicí jednotky cyklovače jsou vedeny přes rámy výkonových spínačů na hlídače plamene hořáků. Zapálení hořáků probíhá automaticky po propláchnutí pece podle regulačních zásahů regulátoru a cyklovače.

V případě nestabilního plamene hořáku, nebo jeho výpadku je toto pomocí hlídače plamene signalizováno a hořák je odstaven z provozu. Jeho opětovné zapálení musí provést obsluha pece. Na čelním panelu centrálního rozvaděče lze každý hořák odstavit z provozu.

Umístění a ovládání hořáků

Pec má po obou stranách celkem 6 vysokorychlostních hořáků. Na pravé straně pece jsou hořáky označeny lichými čísly a na levé straně sudými. Dostatečná vzdálenost ústí hořáku od okraje užitečného prostoru pro vsázku zabráňuje místnímu přehřátí, což je podmínkou pro rovnoměrné rozložení teploty materiálu.

Každý hořák je vybaven hořákovou automatikou. Přejde-li na hlídací soupravu signál pro zapálení hořáku od hořákové karty, otevře se elektromagnetický ventil plynu a dochází k výboji mezi zapalovací elektrodou a kostrou hořáku. Do hořáku prochází určité množství plynu tryskou ve stejnotlakém ventilu a vzduchu pootevřeným elektromagnetickým ventilem vzduchu. Takto vzniklá směs se výbojem zapálí a po vzniklé ionizaci otevře hlídací souprava elektromagnetický ventil vzduchu. Současně mechanicky otevírá rovnotlaký ventil přívod plynu k hořáku a ten se zapálí na maximální výkon.

Chladicí trysky

Na peci jsou umístěny chladicí trysky pro chlazení zpracovávaného materiálu v peci. Vlivem špatného umístění a konstrukční chyby ovšem nejsou využívány. Navíc technologické programy, které se na peci provozují, tuto možnost chlazení nepotřebují.

1.3 Aktuální stav žíhací vozové pece

Žíhací vozová pec je momentálně vlivem neodstranitelné poruchy programátoru odstavena mimo provoz. Náhradní díly na takto zastaralý systém již delší dobu nejsou k dispozici. Je tedy nutno nalézt náhradní řešení vzniklé situace.

2 Funkční analýza řízeného systému.

Správná analýza, nebo syntéza řízeného systému je důležitá pro správný návrh regulátoru. Identifikaci systémů lze realizovat pomocí dvou metod:

- analytická identifikace systémů
- experimentální identifikace systémů

Aby bylo možné použít první variantu, je potřeba dokonale znát kompletní identifikovaný proces daného systému. Vlastnosti systému jsou již detailně popsány v projektové dokumentaci a lze je opakovaně využít při realizaci obdobných systémů. V tomto případě tedy tuto metodu nelze aplikovat, jelikož tyto informace nejsou známy [3].

Naproti tomu u druhé varianty není potřeba znát detailní informace o procesech v daném systému. Experimentální identifikace se realizuje prostřednictvím měření základních charakteristik popisující systém. Jedním ze způsobů, jak lze získat hledané parametry regulované soustavy je aproximace přechodové charakteristiky nějakým vhodným modelem. Principem identifikace pomocí přechodové charakteristiky je uvedení řízeného systému do ustáleného stavu a poté je akční veličina změněna skokem na jinou hodnotu. Výstupní veličina se měří po dobu, než dosáhne ustálenou hodnotu. Samotný časový průběh výstupní veličiny je přechodovou charakteristikou. Nezbytným hlediskem k získání co nejpresnější přechodové charakteristiky jsou nezkrácené naměřené hodnoty výstupní veličiny. Toho lze docílit filtrací, omezením šumů a jiných zdrojů rušení [3].

Pro úspěšné změření přechodové charakteristiky na žíhací vozové peci je potřeba přihlédnout ke stávajícímu stavu a vybavení. Tedy je potřeba specifikovat postup, nezbytné prvky a zařízení pro:

- změření přechodové charakteristik a specifikace výstupní veličiny
- realizaci skokového signálu akční veličiny a její specifikaci

Před samotným změřením přechodové charakteristiky žíhací vozové pece je potřeba upozornit na vlivy, které mohou výrazně zkreslit přesnost a poté i výpočet odhadnutého modelu.

Jedná se zejména o:

- kolísání výhřevnosti topného koksového plynu (navíc výhřevnost není měřena)
- možné zanášení akčních prvků nečistotami topného plynu (provádí se pravidelná údržba - bude provedena před změřením přechodové charakteristiky).
- množství zpracovávané vsázky

Tyto okolnosti budou samozřejmě také ovlivňovat výslednou přesnost a seřízení regulace teploty v peci.

Před započítáním měření přechodové charakteristiky bude do pece vloženo průměrné množství tepelně zpracované vsázky.

2.1 Měření přechodové charakteristiky

Výstupní veličina regulované soustavy je teplota ($^{\circ}\text{C}$) v žíhací vozové peci.

Stávající systém pro záznam naměřené teploty v peci obsahuje pouze zapisovač s papírovým záznamem. Pro samotné provozování a výsledné použití je to dostačující, neboť hlavním výstupním hlediskem žíhané vsázky je její doba použití v samotných strojích a mechanismech výrobní linky, při zachování požadované kvality [13].

Ovšem pro získání přechodové charakteristiky je daný systém záznamu nedostatečný. Je zapotřebí použít měřicí ústřednu, která naměřené hodnoty uloží a umožní další zpracování. Byla použita měřicí ústředna iM1610 od firmy BMC, která obsahuje unifikované analogové vstupy.



Obr. 2.1 Měřicí ústředna iM1610 od firmy BMC

Stávající měření teploty ovšem není realizováno pomocí unifikovaného analogového signálu. Musí být proto použito i vhodného převodníku. K těmto účelům poslouží izolovaný převodník pro termočlánky typu PP03 od firmy Mercos [7].

Jeho parametry budou popsány v kapitole samotného návrhu koncepce řídicího systému žíhací vozové pece, neboť bude využíván i při realizaci a úpravě měření teploty v peci. Výstup ze stávajícího termočlánku typu „S“ bude pomocí nového kompenzačního vedení připojen do převodníku PP03, jehož výstupní signál bude přiveden do měřicí ústředny. Na tomto převodníku bude nastavena filtrace vstupní měřené veličiny. Po změření přechodové charakteristiky se k měřicí ústředně připojí pomocí komunikační linky RS232 počítač, do kterého se naměřená data uloží [14].

Vzorkovací perioda výstupní veličiny bude zvolena 1 sekundu, což bohatě dostačuje, neboť při měření teplot v pecích nedochází k jejich prudkým změnám.

2.2 Realizace skokového signálu akční veličiny

Vstupní akční veličina regulované soustavy musí být zvolena s ohledem na to, jakým způsobem je pec vytápěna. Zde je použito 6 vysokorychlostních hořáků, které jsou ovládány nespojitě. Tedy akční veličina je výkon (%) a pokud hoří všech 6 hořáků současně, bude jeho hodnota 100 %. Lineárně se tedy dají dopočítat hodnoty výkonu, kdy hoří jiný počet hořáků [13].

Jako skokovou změnu je nevhodnější využít sepnutí jednoho, nebo více hořáků a v tomto stavu setrvat do doby, než teplota v peci dosáhne svou ustálenou hodnotu.

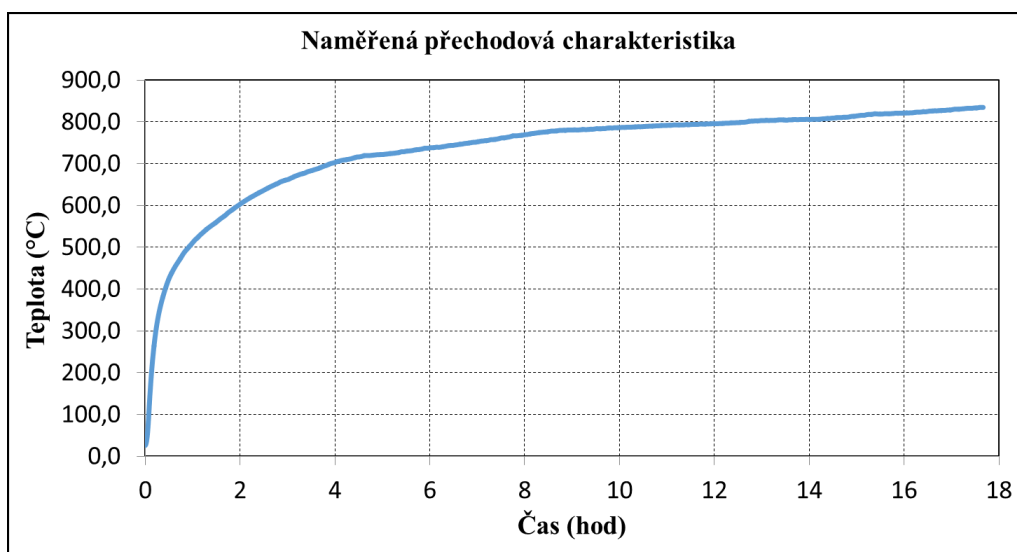
Jelikož stávající nefunkční systém neumožňuje ovládání hořáků přes stávající cyklovač, je nutné tento cyklovač odpojit. Na výkonových spínačích pak stačí pouze propojit svorky a hořáky budou přímo ovládány jednotlivými vypínači na čelním panelu centrálního rozvaděče.

2.3 Identifikace řízeného systému

V rámci získání co možná nejpresnějšího modelu, byly zvoleny oblasti teplot v peci, které jsou nejbližší pracovnímu bodu technologických programů žíhané vsázky.

Bylo provedeno změření 2 charakteristik (výchozí stav byl, kdy nehoří žádný hořák):

- realizace skokového signálu při současném zapnutí 1 hořáků, $u = 16, \bar{6} \%$
- realizace skokového signálu při současném zapnutí 2 hořáků, $u = 33, \bar{3} \%$



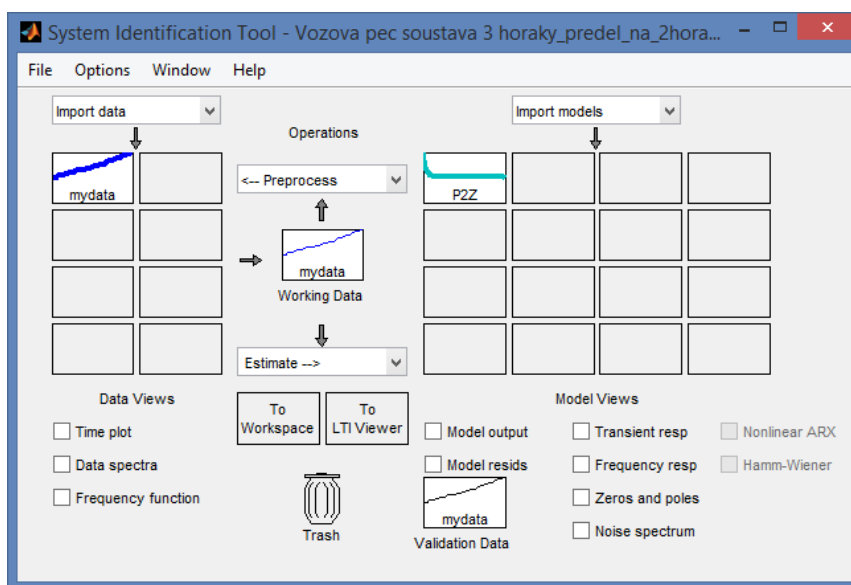
Obr. 2.2 Naměřená přechodová charakteristika při současném zapnutí 2 hořáků

Po celou dobu měření přechodové charakteristiky byly konstantní hodnoty tlaku topného plynu a spalovacího vzduchu.

Bylo také uskutečněno změření přechodové charakteristiky při současném zapnutí tří hořáků. Při svém průběhu ovšem překročila maximální dovolenou teplotu v peci a v tomto případě z bezpečnostních důvodů dochází k automatickému vypnutí vytápění.

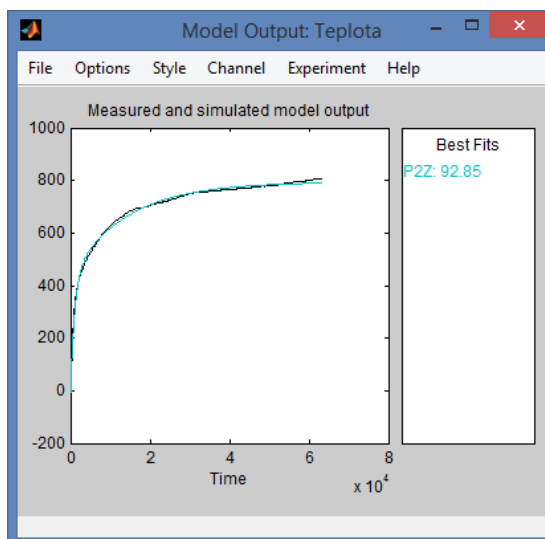
Z toho pramení, že změření přechodových charakteristik při současném zapnutí tří a více hořáků není možné.

Samotná identifikace řízeného systému pomocí naměřených přechodových charakteristik je provedena v programu Matlab, konkrétně v jeho nástroji Ident. Zde je potřeba zadat vstupní a výstupní veličinu, periodu vzorkování, vstupní počáteční podmínky a provede se výpočet jednotlivých návrhů modelu.



Obr. 2.3 Nástroj Ident v Matlabu

Poté stačí vybrat model s největší shodou naměřené a aproximované charakteristiky.



Obr. 2.4 Porovnání naměřené a vypočtené přechodové charakteristiky

Výsledný vypočtený přenos soustavy:

$$G_s = k_r \frac{T_1 \cdot s + 1}{(T_2 \cdot s + 1) \cdot (T_3 \cdot s + 1)}$$

k_r - zesílení

T - časová konstanta

Přenos soustavy při zapnutí 1 hořáku

$$G_s = 32,777 \frac{7856,5 \cdot s + 1}{(12178 \cdot s + 1) \cdot (967,58 \cdot s + 1) \cdot (25,414 \cdot s + 1)}$$

Přenos soustavy při současném zapnutí 2 hořáků

$$G_s = 23,817 \frac{8175,2 \cdot s + 1}{(14112 \cdot s + 1) \cdot (1056,6 \cdot s + 1)}$$

Z uvedených přenosů soustav vyplývá, že zesílení a odhadnutý model soustavy je závislý na počtu zapnutých hořáků.

Pro výsledný odhadnutý model bude použitý přenos soustavy při zapnutí 2 hořáků, jelikož je neblíže pracovnímu bodu teploty v peci.

Jedná se tedy o nelineární proporcionální aperiodickou soustavu druhého řádu.

3 Návrh koncepce řídicího systému žíhací vozové pece

Jako prvotní návrh, na řešení dané situace, bylo provedení kompletní modernizace (která je navíc v plánu) celého systému měření, řízení a ovládání pece. Tato varianta by se týkala všech, částí a zařízení MaR žíhací vozové pece, tedy jednalo by se o všechny okruhy popsané v kapitole 1. *Seznámení se s technologií a způsobem provozování žíhací vozové pece.*

Provozování strojů na výrobních linkách potřebuje ke své činnosti mimo jiné tepelně zpracovaný materiál právě z této žíhací vozové pece, která je na tomto provozu navíc pouze jedna.

Kompletní rekonstrukce je plánována až na rok 2017 a tudíž nejsou zatím podniknuty žádné kroky (dají se samozřejmě dopředu provést při provozování pece), jako je návrh projektu, potřebné dokumentace, výběr firmy, která ji bude realizovat, objednání všech potřebných částí a zařízení apod. Právě z těchto důvodů by ovšem tato varianta znamenala prodloužení doby, po kterou nebude žíhací vozová pec v provozu, na neúnosnou. Muselo by se po tuto dobu zajistit tepelné zpracování vsázky, popřípadě nakoupit již hotový zpracovaný materiál u jiných firem, což by značně navýšilo náklady na výrobu provozních linek, které daný zpracovaný materiál využívají.

Je potřeba tedy najít společně s provozovatelem nejlepší možné řešení vzniklého stavu žíhací vozové pece.

Hlavní požadavky provozovatele:

- co nejkratší doba opravy
- co nejmenší náklady na opravu (zařízení stejně bude modernizováno)

Jako jedno ze schůdných řešení by obnášelo výměnu pouze nefunkčního programátoru za programovatelný automat na bázi PLC. V tomto PLC by byla realizována řídicí aplikace, která by zajišťovala výběr žíhacího programu pro daný typ vsázky. Z řídicího systému by pak odcházela výstupní informace o aktuální žádané hodnotě teploty v peci pomocí spojitého proudového signálu do stávajícího regulátoru, ve kterém by se porovnávala s naměřenou hodnotou teploty v peci. Bohužel bylo zjištěno, že stávající programátor neměl unifikovaný proudový výstup a navíc také lineární charakteristiku [13].

Z tohoto důvodu se tedy musí nahradit pomocí programovatelného automatu nejen samotný stávající vadný programátor žádané hodnoty, ale také i regulátor teploty v peci a modul cyklického spínání. V režimu topení modul cyklického spínání řídí binárními signály hořákové automatiky, které ovládají přívod kosoého plynu a spalovacího vzduchu do hořáku. Z toho pramení, co musí vše náhradní řídicí systém splňovat a řídicí aplikace obsahovat, aby zajistila potřebnou regulaci teploty v peci.

Dodržování podmínek pro bezpečné provozování pece je realizováno mimo stávající řídicí systém. Tudíž toto zabezpečení není potřeba řešit v nové řídicí aplikaci

3.1 Hlavní požadavky na náhradní systém

Aby bylo možné adekvátně řešit návrh koncepce, je potřeba vyspecifikovat všechny požadavky, které musí splňovat nový systém řízení.

Seznam všech požadavků:

- měření vstupní aktuální teploty v peci
- zobrazení aktuální naměřené hodnoty teploty pro potřebu operátora pece (byla zobrazena na stávajícím programátoru)
- možnost volby žíhacích programů, bez použití vizualizace
- uložení žíhacích programů (programy jsou předem nadefinovány, pro daný typ zpracovávaného materiálu)
- zapnutí žíhacího cyklu a možnost kdykoliv jej vypnout
- zajištění regulace teploty v peci dle teplotní křivky navoleného žíhacího programu
- cyklické spínání hořáků z důvodu dosažení rovnoměrného teplotního pole pro zpracovaný materiál
- ovládání hořáků logickými výstupními signály pomocí stávajících hořákových automatik

3.2 Výběr programovatelného automatu

Z důvodu unifikace je požadován programovatelný automat řady SLC 500 od firmy Rockwell Automation. Dalším hlavním důvodem vybraného PLC je také fakt, že po komplexní modernizaci celé žíhací vozové pece zůstane jako náhradní díl pro ostatní zařízení výrobní linky. Tento typ programovatelných automatů je totiž použit na dalších pecích provozovatele.

Při komplexní modernizaci se předpokládá nahrazení toho programovatelného automatu řídicím systémem s komunikací pro hořákové automatiky, nehledě k dalším požadavkům a nárokům budoucího projektu, které nejsou momentálně známy.

Z výše uvedených požadavků vyplývá potřebný počet vstupů a výstupů:

- 1 ks analogový vstup
- 10 ks digitálních vstupů
- 8 ks digitálních výstupů

Již dle výše zmíněných důvodů byla vybrána následující sestava řídicího PLC [8].

Typy použitých modulů SLC 500 a jejich hlavní parametry:

Procesor:

Typ	- SLC 5/03 1747-L532E
Paměť	- 16 KB paměť
Komunikace	- DH-485 a RS-232
Časové přerušení	- s rastrem od 1 ms

Analogová vstupní karta

Typ	- 1746-NI16I
Počet a typ vstupů	- 16 unifikovaných proudových vstupů
Vstupní signál	- max. +/- 30 mA
Rozlišení	- 16 bitů
Přesnost měření	- +/- 0,15 % z rozsahu vstupního signálu

Digitální vstupní karta

Typ	- 1746-IB32
Počet a typ vstupů	- 32 digitálních vstupů
Vstupní signál	- 24 VDC (tolerance 15 až 30 VDC)
Zpoždění signálu	- max. 3 ms

Digitální výstupní karta

Typ	- 1746-OW16
Počet a typ výstupů	- 16 digitálních výstupů
Výstupní signál	- max. 240 VAC
Proudová zatížitelnost	- max. 0,75 A

Zdroj

Typ	- 1746-P2
Výkon	- 70 W

Modulární šasi

Typ	- 1746-A7
Počet slotů na karty	- 7

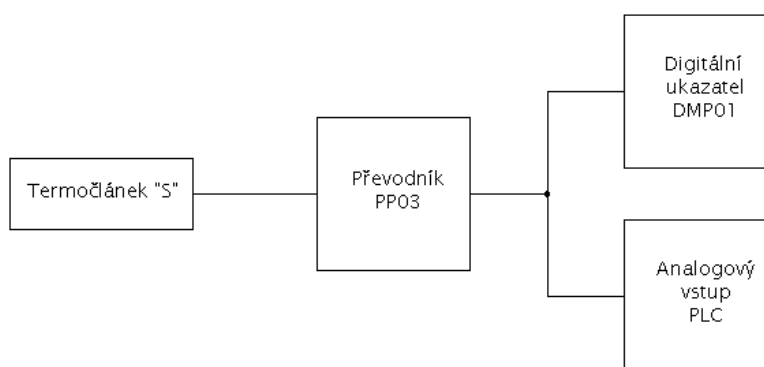
Výsledná sestava programovatelného automatu Rockwell Automation [8].



Obr. 3.1 Sestava PLC Allen Bradley SLC 500

3.3 Úprava stávajícího měření teploty v peci

Kromě náhrady řídicího systému je nutno upravit měření teploty v žhací vozové peci. Stávající měření je realizováno platinovým dvojitém termočlánkem typu „S“ s aktivním rozsahem 0 - 1200 °C. První pár je přes kompenzační vedení zapojen přímo na zapisovací přístroj. Signál z druhého páru termočlánku je veden kompenzačním vedením do převodníku a dále do stávajícího regulátoru. Signál z převodníku je ovšem nelineární, tudíž pro naši potřebu nepoužitelný a proto musí být také nahrazen převodníkem novým. Opět z důvodu unifikace a také hojného využití na jiných zařízeních výrobní linky je zvolen izolovaný převodník pro termočlánky typu PP03 od firmy Mercos. K druhému páru měřícího termočlánku bude přivedeno nové kompenzační vedení zakončené na převodníku PP03, z důvodu eliminace možného rušení měřené teploty pecní atmosféry. Výstupní unifikovaný proudový signál 4 - 20 mA DC z tohoto převodníku bude zapojen na analogový vstup řídicího PLC [7].

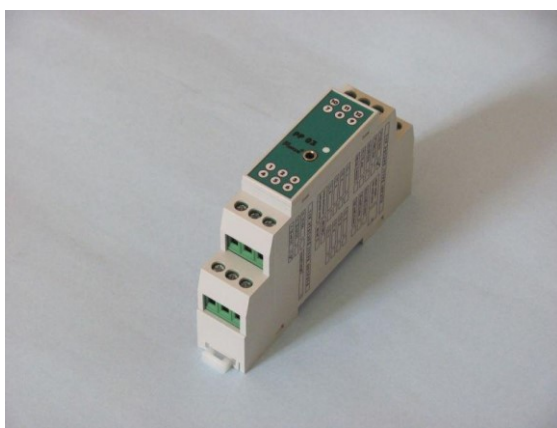


Obr. 3.2 Blokové schéma měření teploty v peci

Převodník bude z bezpečnostních důvodů nastaven tak, že v případě vadného vstupního signálu (odpojený, zničený termočlánek), bude mít na výstupu maximální hodnotu a tím dojde k vypnutí vytápění pece. Na převodníku bude nastavena filtrace vstupní měřené veličiny.

Hlavní parametry a funkce převodníku PP03:

Vstupní signál	- termočlánky, odporové snímače a vysílače
Výstupní signál	- izolovaný, unifikovaný proudový a napěťový
Napájení	- 24 VAC, DC, tolerance -15 % až +20 %
Rozlišení vstupní signálu	- 20 bitů
Rozlišení výstupní signálu	- 14 bitů
Kompensace studeného konce termočlánků	- vypnutá, pevná, interní měření teploty
Přesnost měření	- +/- 0,1 % z plného rozsahu vstupního signálu
Odezva analogového výstupní signálu	- 180 ms bez filtrace, 0,4 až 4 s s filtrací



Obr. 3.3 Izolovaný převodník pro termočlánky typu PP03

Dále musí být také aktuální naměřená teplota zobrazena pro potřebu operátora žhací vozové pece, neboť dříve tato hodnota byla zobrazována na dnes již nefunkčním programátoru. Byl zvolen panelový digitální ukazatel s příslušenstvím pro analogové signály DMP01 od stejnojmenné firmy Mercos, který bude zapojen do proudové smyčky s převodníkem PP03 a analogovým vstupem řídicího PLC [7].



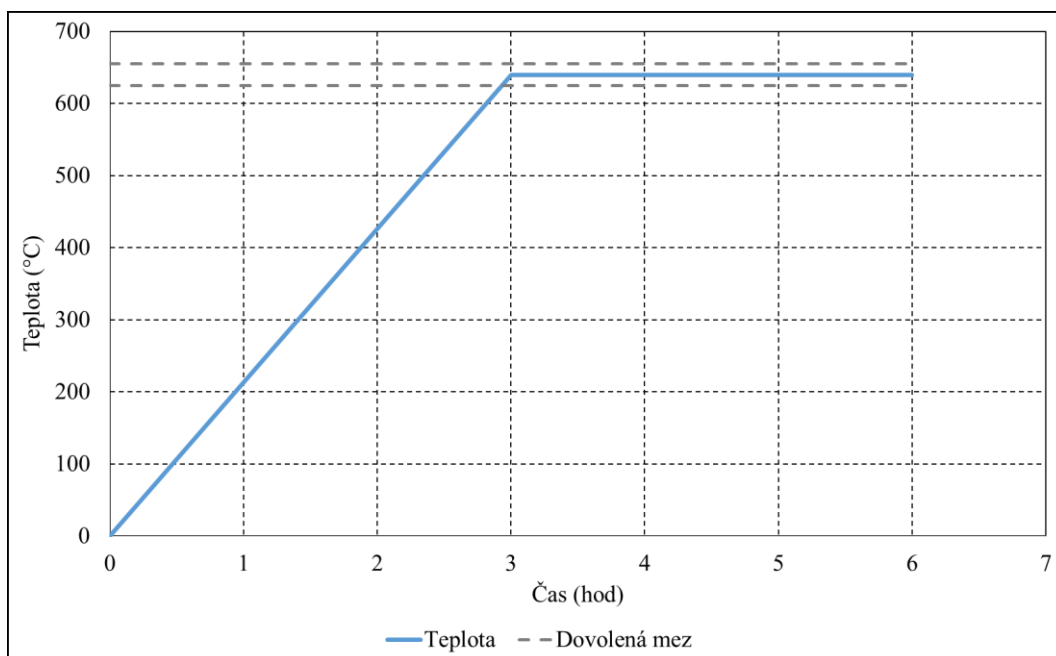
Obr. 3.4 Digitální ukazatel DMP01

Hlavní parametry a funkce digitálního ukazatele DMP01:

Vstupní signál	- unifikovaný proudový a napěťový
Výstupní signál	- releový, izolovaný, unifikovaný proudový a napěťový, zdroj pomocného napětí
Napájení	- 24 VAC, DC, tolerance -15 % až +20 %
Rozlišení displeje	- +/- 29 999
Rozlišení vstupní signálu	- 20 bitů
Rozlišení výstupní signálu	- 14 bitů
Přesnost měření	- +/- 0,05 % z plného rozsahu, +/- 2 digity
Vzorkování signálu	- 16,7 měření/s – interní měření
Vzorkování displeje	- 4 zobrazení/s

3.4 Obsluha žihacích programů pro zadaný typ vsázky

Na stávajícím programátoru se musely žihací programy před každým žihacím cyklem pokaždé nejprve naprogramovat. Tvorba žihací křivky programu se prováděla postupným zadáváním všech bodů a jim odpovídajících časů, ve kterých se jednotlivé přímký žihací křivky spojovaly. Stávající systém neobsahoval možnost uložení a zpětného vyvolání takto zadaných žihacích programů. Po ukončení žihacího cyklu, musel být i třeba stejný program znovu stejným způsobem vkládán [13].



Obr. 3.5 Příklad technologického programu žíhané vsázky

Typy používaných technologických programů jsou sice odlišné, ale používají se opakovaně a to již po celou dobu provozování žíhací vozové pece. Navíc množství těchto programů není velké, v podstatě se jich používá maximálně osm. Proto se jeví jako ideální varianta, když se všechny uloží a operátor pece si před zpracováním pouze zvolí vybraný program. Nahrazovaný systém umožňuje využití paměti pro tyto účely, takže tyto žíhací programy budou uloženy přímo v řídicí aplikaci.

3.4.1 Volba a spuštění uloženého žíhacího programu

Ve stávajícím systému byla volba žíhacího programu provedena jeho vlastním vytvořením a poté spuštěním na programátoru, což již teď nelze využít.

Samozřejmě nejideálnějším řešením v rámci nového systému by bylo ovládání přes nové řídicí PC, které by obsahovalo vizualizační aplikaci. Toto ovšem není z důvodu nároků na co nejnižší náklady realizováno. Nový řídicí systém obsahuje kartu digitálních vstupů, kterých je možné k tomuto účelu využít. Na tyto vstupy budou zapojeny otočné číslicové přepínače TS 211 od firmy Tesla, které se použijí ze stávajícího programátoru [11].

Hlavní parametry otočného číslicového přepínače TS 211:

- Maximální napětí: 50 V
- Maximální spínaný proud: 50 mA

Při použití dvou kusů otočných číslicových přepínačů a 8 digitálních vstupů bude možné zadat až 99 programů, což pro naše potřeby bohatě dostačuje. Signalizace a spuštění, nebo zastavení chodu žíhacího programu bude prováděno pomocí ovládacích spínacích a signalizačních přístrojů od firmy Schneider Electric. Tyto přístroje budou připojeny na vstupní a výstupní karty PLC [12].

3.4.2 Vytvoření, nebo úprava žíhacích programů

Pokud bude potřeba vytvořit, nebo upravit technologický program, bude toto provedeno technikem servisní údržby MaR. Tento technik vytvoří pomocí vývojového prostředí další žíhací program v řídicí aplikaci. Operátor nově obdrží, jakému číslu zadání na číslicovém otočném přepínači daný nový program odpovídá.

3.5 Regulace teploty v peci a cyklické spínání hořáků

Měřená teplota v peci bude přivedena na vstup řídicího systému a bude v něm pomocí nově vytvořeného regulátoru porovnávána s žádanou aktuální hodnotou teploty dle zvoleného žíhacího programu. Výstupem pak bude cyklické spínání hořáků z důvodu dosažení rovnoměrného teplotního pole pro zpracováváný materiál.

Jelikož se jedná čistě o programové řešení, které bude obsaženo v řídicí aplikaci programovatelného automatu, tak bude detailně popsáno v kapitole 4 *Návrh a realizace řídicí aplikace pro programovatelný automat*.

3.6 Ovládání hořáků logickými výstupními signály pomocí stávajících hořákových automatik

V řídicí aplikaci bude realizován regulátor teploty i cyklovač hořáků. Logické výstupy digitální výstupní karty programovatelného automatu budou zavedeny přes oddělovací relé na rámy stávajících výkonových spínačů. Výkonové spínače přímo ovládají hlídače plamene hořáků.

Stávající zařízení bude ovládat propláchnutí a hlídání hořáků. Zapálení hořáků bude probíhat automaticky po propláchnutí pece podle regulačních zásahů generovaných řídicí aplikací. V případě nestabilního plamene hořáku, nebo jeho výpadku bude toto pomocí hlídače plamene signalizováno a hořák bude odstaven z provozu. Jeho opětovné zapálení musí provést obsluha pece. Na čelním panelu centrálního rozvaděče lze každý hořák odstavit z provozu.



Obr. 3.6 Panel zobrazení teploty v peci a volby technologického programu

4 Návrh a realizace řídicí aplikace pro programovatelný automat

Z předcházejících kapitol, ve kterých byl charakterizován systém provozování a návrh koncepce řídicího systému žihací vozové pece, vyplývá zadání, které musí řídicí aplikace splňovat.

4.1 Zadání pro řídicí aplikaci

Obsluha pece zvolí na číslicovém přepínači (ČÍSLO PROGRAMU) příslušný technologický program. Program lze spustit tlačítkem start (START) na ovládacím panelu, zastavit tlačítkem stop (STOP) a poté znovu spustit. Při podržení tlačítka stop po dobu 3 sekund bude provedeno vypnutí programu a uvedení řídicí aplikace do výchozího stavu. Ovládací panel obsahuje výstražné světlo (RUN/PAUSE), které při běžícím programu trvale svítí a při jeho zastavení bliká.

Data všech technologických programů, které jsou k dispozici, budou uložena v paměti programovatelného automatu. Technologický program se skládá z jednotlivých úseků, které jsou charakterizované teplotou a časem. Každý technologický program se bude skládat z maximálně pěti úseků.

Hlavním úkolem řídicí aplikace je dodržení naměřené teploty (NAMĚŘENÁ TEPLOTA V PECI) dle teplotní křivky zadaného technologického programu s požadovanou přesností. Vytápění pece je realizováno 6 hořáky, které budou ovládány z výstupní karty pomocí digitálních signálů (HOŘÁK 1 až HOŘÁK 6). V případě nedodržení teploty zpracování o více než 15 °C (v rozsahu 400 - 950 °C) od požadované hodnoty bude zpracování zastaveno a signalizováno (CHYBA ZPRACOVÁNÍ). Z důvodu dosažení rovnoměrného teplotního pole pro zpracovaný materiál je potřeba dodržet cyklické spínání hořáků.

4.2 Návrh řídicí aplikace

Celá aplikace bude rozdělena do dílčích bloků, které budou provádět jednotlivé funkce a operace. Program pak bude čitelný a přehledný. Zároveň bude snazší ve funkční řídicí aplikaci provést případné úpravy. Přispěje to také ke zlepšení návaznosti jednotlivých funkcí a ladění celé řídicí aplikace.

Hlavní program bude mít na starosti cyklické volání všech dílčích bloků, které budou vykonávat podprogramy.

Inicializace nastaví řídicí aplikaci do výchozího stavu a zároveň načte parametry pro chod celé řídicí aplikace.

Pro zadávání technologických programů a zpracování dat pro regulátor budou sloužit podprogramy Výběr technologického programu, Výběr dat pro probíhající úsek zvoleného technologického programu a Výpočet naměřené a požadované teploty v peci.

Samotnou regulaci teploty v peci bude v řídicí aplikaci realizovat podprogram Regulátor.

Plynulý nájezd teplotní křivky technologického programu a rovnoměrné teplotní pole v žihací vozové peci budou zajišťovat podprogramy Volba počtu aktivních hořáků, Cyklovač a Zapnutí hořáku.

4.3 Návrh a rozbor funkce jednotlivých podprogramů řídicí aplikace.

LAD 2 - Main

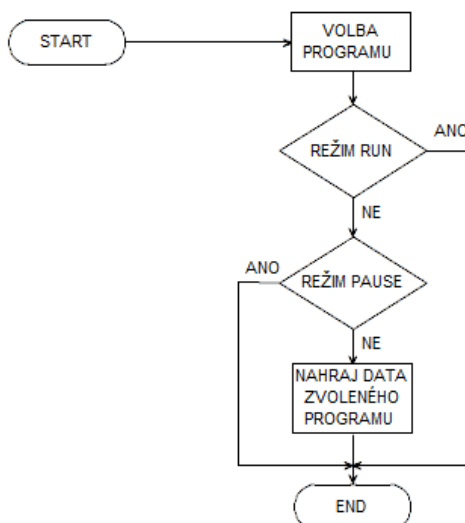
Jedná se o hlavní program, odkud budou volány všechny výše uvedené podprogramy. Podprogramy Regulátor, Volba počtu aktivních hořáků, Cyklovač a Zapnutí hořáku budou volány pouze v případě chodu technologického programu a také, je-li naměřená teplota v povoleném rozsahu.

LAD 3 - Inicializace

Kód programu zapsaný v tomto bloku se provede pouze jednou a to při spuštění, nebo restartu řídicí aplikace. Tento blok slouží k inicializaci programu. V této části programu dochází k inicializaci analogové vstupní karty, dále pak vynulování všech proměnných a digitálních výstupů.

LAD 5 - Výběr technologického programu

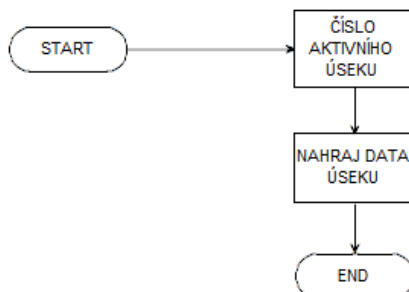
Tento blok bude mít na starosti výběr dat pro zvolený technologický program. Volba programu se provádí pomocí otočných číslicových přepínačů, které jsou zapojeny na vstupní binární kartu. Data všech dostupných technologických programů budou uložena v datovém bloku a dle zvoleného čísla programu budou načtena patřičná data vybraného technologického programu. Volba bude umožněna, pokud nebude program v režimu RUN, nebo PAUSE.



Obr. 4.2 Vývojový diagram volby technologických programů

LAD 6 - Výběr aktuálního úseku

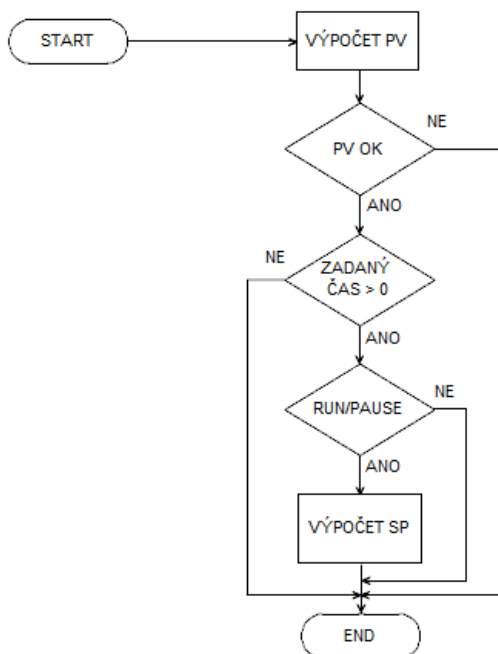
Podprogram bude mít na starosti nahrání dat aktuálního běžícího úseku. Volba se bude provádět na základě informace o čísle probíhajícího úseku, kterou bude generovat podprogram Ovládání technologického programu.



Obr. 4.3 Vývojový diagram výběru aktuálního úseku

LAD 7 – Výpočet naměřené a žádané teploty v peci

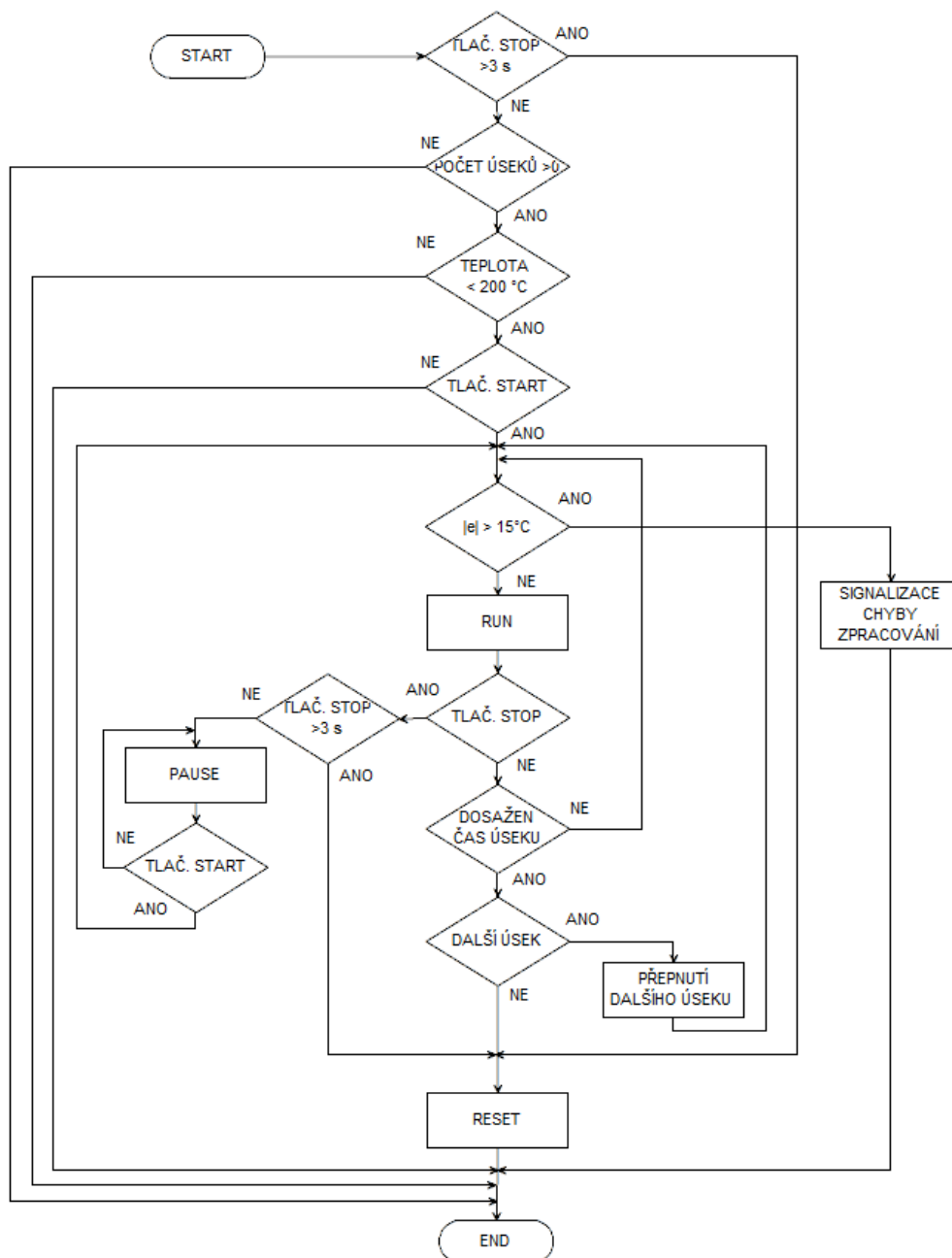
Tento program zajišťuje přepočet a filtraci naměřené hodnoty z analogové vstupní karty na fyzickou hodnotu měřené veličiny, kterou je teplota (°C). Na základě aktuálního času technologického programu a dat probíhajícího úseku je průběžně vypočítávána žádaná hodnota teploty v peci.



Obr. 4.4 Vývojový diagram výpočtu naměřené a žádané teploty v peci

LAD 10 – Ovládání programu

Hlavní funkcí tohoto bloku je řízení chodu a stavu zvoleného technologického programu, dále pak načítání času probíhajícího úseku a přepínání jednotlivých úseků, ze kterých se teplotní křivka skládá. Po řádném dokončení technologického programu uvede řídicí aplikaci do výchozího stavu, kdy se vynulují patřičné proměnné a výstupy. Uvedení aplikace do výchozího stavu je také kdykoliv možné prostřednictvím delšího podržení tlačítka stop. Technologický program lze zapnout, pokud je aktuální teplota v peci menší než 200 °C. V případě nedodržení teploty zpracování o více než 15 °C (v rozsahu 400 – 950 °C), bude zpracování zastaveno a signalizováno. Tento podprogram svou funkcí bude ovlivňovat chod všech podprogramů, vyjma Výběru technologického programu.



Obr. 4.5 Vývojový diagram ovládání programu

LAD 11 – Regulátor

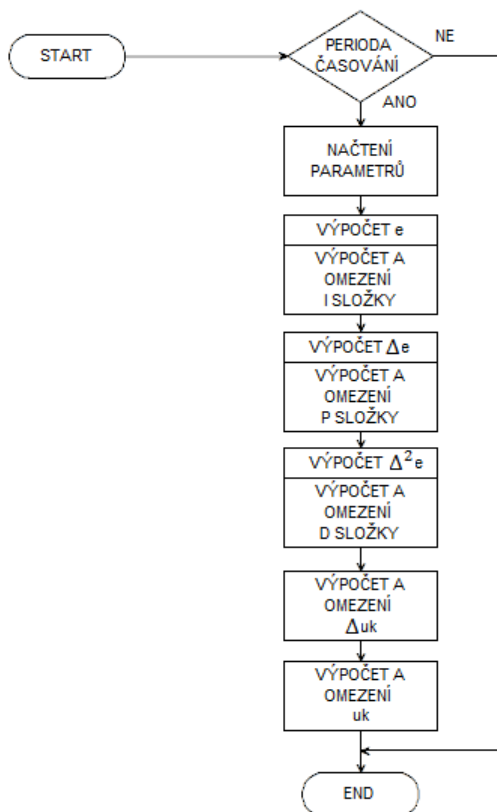
Vývojové prostředí RSLogix 500 sice obsahuje vlastní instrukce s PID regulátorem, ovšem pro lepší přehlednost, seřízení a možnost přizpůsobení dané aplikaci bude použit regulátor jiný. Jako nejvhodnější se jeví využití PSD regulátoru s přírůstkovým algoritmem. Jak už z jeho označení vyplývá, podle tohoto algoritmu se určuje pouze změna akční veličiny v daném okamžiku, nikoliv její celá hodnota.

Definice přírůstkového algoritmu [10]

$$\Delta u_{(k)} = u_{(k)} - u_{(k-1)} = e_{(k)} \cdot K_i + \Delta e_{(k)} \cdot K_p + \Delta^2 e_{(k)} \cdot K_d$$

Regulátor bude také doplněn funkcí antiwind-up, což je opatření, která má zabránit nežádoucímu pokračování integrace akční veličiny poté, co dosáhl své mezní realizované hodnoty [1].

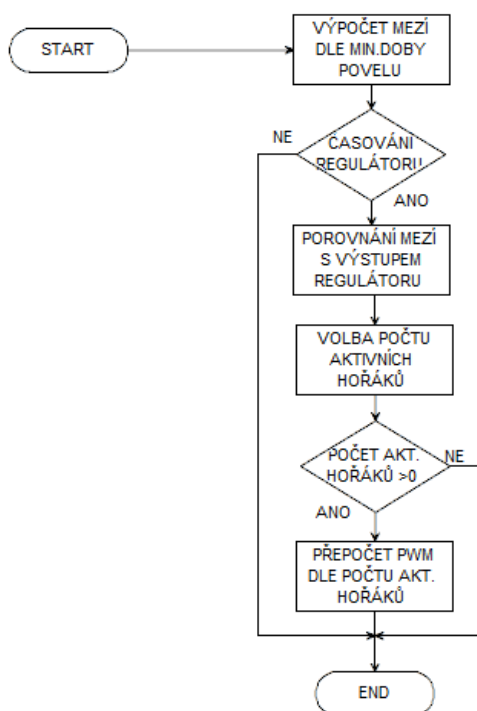
Vypočtená hodnota akční veličiny bude tedy omezena na své minimum a maximum.



Obr. 4.6 Vývojový diagram regulátoru

LAD 12 – Volba počtu aktivních hořáků

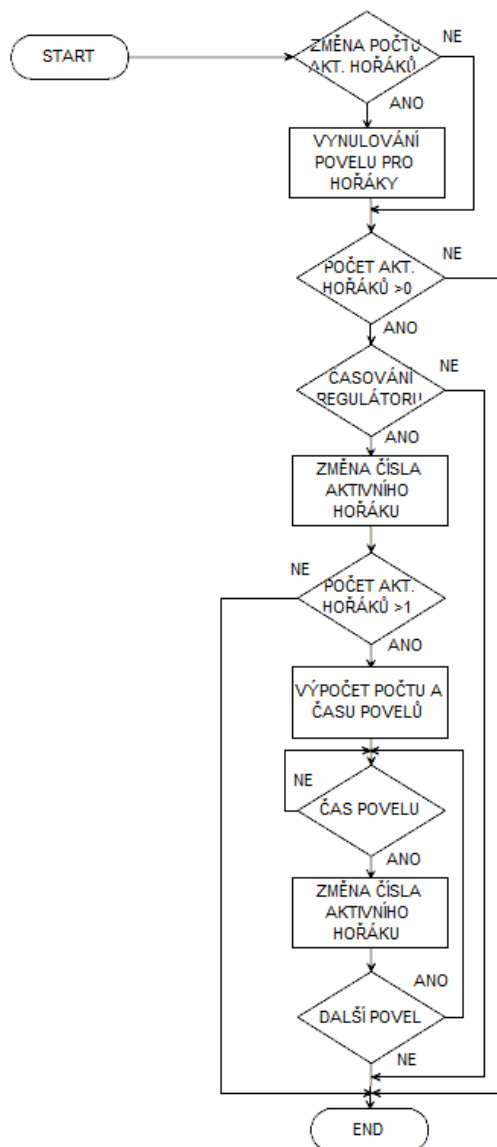
Podprogram slouží pouze k ošetření plynulého náběhu teplotní křivky. Je to hlavně z důvodu nespojitého řízení hořáků, kdy minimální doba hoření jednotlivých hořáků musí být z konstrukčních důvodů větší než 0,5 sekundy. V opačném případě by hrozilo při náběhu teplotní křivky rozkmitání a menší citlivost regulace. Dle počtu aktivních hořáků je přepočten PWM výstupní signál z regulátoru.



Obr. 4.7 Vývojový diagram volby počtu aktivních hořáků

LAD 13 – Cyklovač

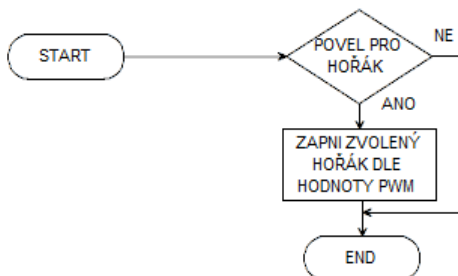
Tento podprogram zajišťuje cyklické přepínání povelů pro jednotlivé hořáky. Dle počtu aktivních hořáků je vypočítán počet povelů v jedné periodě časování regulátoru a čas jejich aktivace je rovnoměrně rozložen. Při změně počtu aktivních hořáků dále zajišťuje, že bude vždy cyklus začínat hořákem č. 1.



Obr. 4.8 Vývojový diagram cyklovače

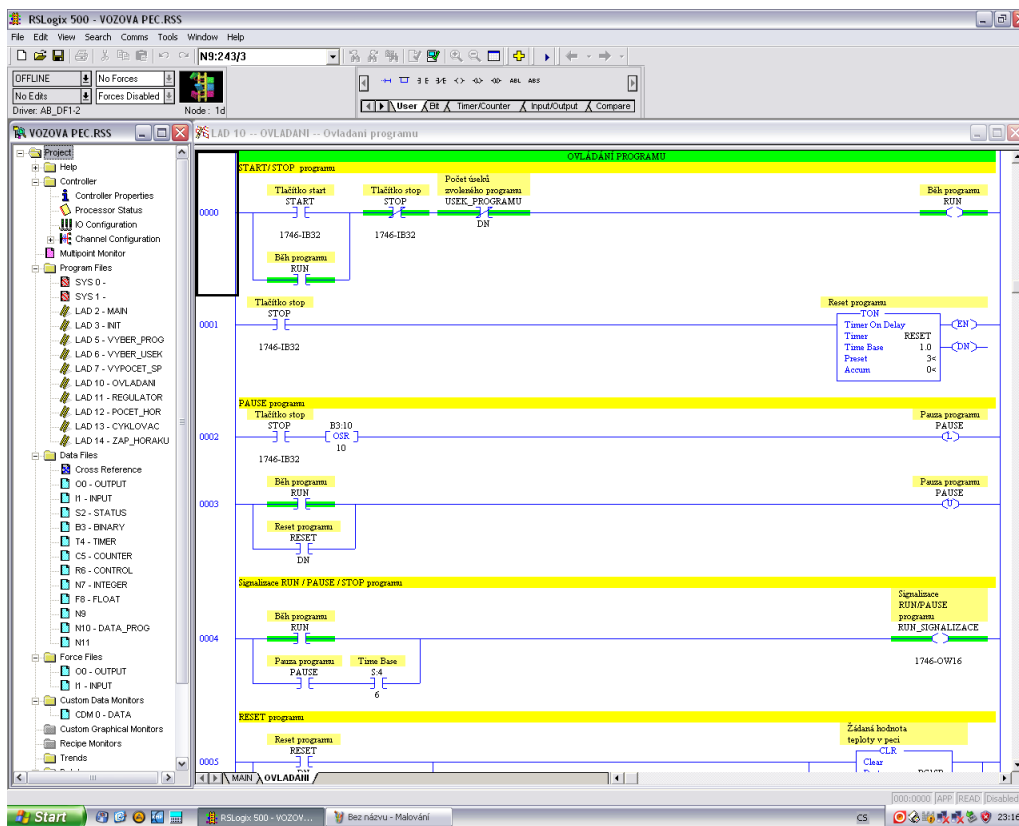
LAD 14 – Zapínání hořáků

Tento podprogram zapíná zvolené hořáky na základě povelů z Cyklovače hořáků. Doba hoření hořáků je realizována dle vypočtené hodnoty PWM z podprogramu Volba počtu aktivních hořáků.



Obr. 4.9 Vývojový diagram zapínání hořáků.

Řídicí aplikace je realizována pomocí software RSLogix 500. Tento program slouží pro vývoj uživatelských aplikací programovatelných automatů společnosti Rockwell Automation. Konkrétně se jedná o řady programovatelných automatů typu SLC500 a Micrologix 1200 [8].



Obr. 4.10 Vývojové prostředí RSLogix 500

5 Ověření funkčnosti regulace teploty v žíhací peci

Před prvotním spuštěním řídicí aplikace je zapotřebí zjistit a doplnit její všechny potřebné parametry a nastavení. Dále pak je potřeba postupně odzkoušet chod a návaznost jednotlivých podprogramů a poté funkčnost celé řídicí aplikace. Teprve potom je možné začít seřizovat regulaci teploty v peci.

5.1 Optimální seřízení regulace teploty

Samotné posouzení optimálního chování regulačního obvodu je značně závislé na zvolených metodách a hlediscích. Ty se ovšem mnohdy liší, záleží zejména na provozních požadavcích, možnostech a technické realizaci jednotlivých prvků regulační soustavy. Kvalita regulace se posuzuje vždy podle určitých kritérií. Tyto kritéria ovšem mohou být různého charakteru - od matematicky přesně definovaných, až po pouhé sledování běžných průběhů regulace [1].

V tomto případě bude hodnocení optimálního průběhu regulace provedeno dle odezvového pohledu, který je založen na sledování průběhu odezev konkrétních veličin. Je to z důvodu známých požadavků na dodržení časových a průběhových limitů. Sledovanou veličinou je tedy regulovaná teplota v peci [1].

Regulovaná soustava není dokonale popsána a neznáme kompletní identifikovaný proces. Seřízení stavitelných parametrů regulátoru bude tedy realizován pomocí přechodové charakteristiky této soustavy, která byla získána funkční analýzou řízeného systému.

Optimalizace se bude provádět pomocí stavitelných proměnných regulátoru. Konkrétně se jedná o parametry periodu časování regulátoru, minimální dobu povelu pro akční člen a stavitelné konstanty regulátoru. Parametry technologických programů jsou předem určené, ostatní výše zmíněné se při seřizování regulace teploty mohou ještě změnit. V případě, že při funkčním ověření nebudou zkoušené technologické programy vyhovovat dovolené toleranci, budou patřičné parametry regulátoru pozměněny dle odezvy naměřené teploty a bude použita jiná metoda seřízení.

Jelikož byla v řídicí aplikaci realizována filtrace měřené teploty v peci, mohlo by dojít ke změně dynamiky soustavy. Bude tedy opětovně provedeno změření přechodové charakteristiky soustavy. Postup bude proveden stejný, jaký je v kapitole 2 *Funkční analýza řízeného systému*. Rozdíl bude jen v tom, že nebude použito měřící ústředny, ale data se budou archivovat v programovatelném automatu.

Výsledný přenos soustavy při současném zapnutí 2 hořáků

$$G_s = 25,984 \frac{11014 \cdot s + 1}{(18368 \cdot s + 1) \cdot (1247,9 \cdot s + 1)}$$

Tento přenos soustavy bude použit pro výpočet stavitelných parametrů regulátoru.

5.1.1 Konstanty regulátoru

K výpočtu těchto konstant bude využit program Matlab. Vložíme do něj odhadnutý přenos soustavy a pomocí funkce Pident získáme parametry pro PID regulátor.

Nastavená perioda vzorkování: $T_s = 5$ s

Vypočtené parametry:

Zesílení regulátoru: $k_r = 0,0152$

Integrační časová konstanta: $T_I = 312,4$ s

Derivační časová konstanta: $T_D = 0$

Proporcionální konstanta: $K_p = 0,0152$

Integrační konstanta: $K_i = 0,00004861$

Derivační konstanta: $K_d = 0$

Jelikož je použit diskretní regulátor, je dále potřeba provést přepočít na číslicový PSD regulátor s přírůstkovým algoritmem [10].

Definice přírůstkového algoritmu:

$$\Delta u_{(k)} = u_{(k)} - u_{(k-1)} = e_{(k)} \cdot K_i \cdot T_s + \Delta e_{(k)} \cdot K_p + \Delta^2 e_{(k)} \cdot \frac{K_d}{T_s}$$

Kde:

$$\Delta e_{(k)} = e_{(k)} - e_{(k-1)}$$

$$\Delta^2 e_{(k)} = \Delta e_{(k)} - \Delta e_{(k-1)} = e_{(k)} - 2e_{(k-1)} + e_{(k-2)}$$

Po dosazení a úpravě:

$$u_{(k)} - u_{(k-1)} = e_{(k)} \cdot K_i \cdot T_s + K_p \cdot e_{(k)} - K_p \cdot e_{(k-1)} + \frac{K_d}{T_s} \cdot e_{(k)} - \frac{K_d}{T_s} \cdot 2e_{(k-1)} + \frac{K_d}{T_s} \cdot e_{(k-2)}$$

$$u_{(k)} = u_{(k-1)} + e_{(k)} \left[K_i \cdot T_s + K_p + \frac{K_d}{T_s} \right] + e_{(k-1)} \left[-K_p - 2 \frac{K_d}{T_s} \right] + e_{(k-2)} \frac{K_d}{T_s}$$

Koeficienty přenosu PSD regulátoru:

$$q_0 = K_i \cdot T_s + K_p + \frac{K_d}{T_s} = 0,0155$$

$$q_1 = - \left(K_p + 2 \frac{K_d}{T_s} \right) = -0,0152$$

$$q_2 = \frac{K_d}{T_s} = 0$$

Parametry, které se zadají do regulátoru v řídicí aplikaci

$$K_P = q_1 = -0,0152$$

$$K_I = q_0 = 0,0155$$

$$K_D = 0$$

5.1.2 Perioda časování regulátoru

Perioda časování regulátoru bude nastavena dle regulované veličiny. Regulovanou veličinou je teplota v peci, která bude měřena v desetinách °C, což je bohatě dostačující. Perioda časování regulátoru je závislá na vzorkování měřené teploty. Obvyklá doporučená vzorkovací perioda pro regulaci teploty je 10 - 20 sekund [9].

Jelikož se jedná vytápění pece plynem, kdy odezva je přece jen rychlejší, bude jako základní hodnota, dle výše zmíněných podmínek, zvolena 5 sekund.

5.1.3 Minimální doba povelu

Volba minimální doby povelu pro akční člen je závislá na více hlediscích:

- na typu použitých akčních prvků (solenoidový ventil, rovnotlaký regulátor, hořák, použitý topný plyn). Jedná se především o zpoždění, než hořák najede na stabilní teplotní výkon.
- na požadované přesnosti regulované soustavy, neboť čím větší tato časová konstanta bude, tím bude méně přesná samotná regulace (hlavně při náběhu teplotní křivky).
- na opotřebení akčních prvků způsobené častějším spínáním

Dle výše zmíněných okolností bude jako výchozí hodnota zvolena 0,5 sekundy.

5.1.4 Parametry technologických programů

Technologický program je charakterizován počtem jednotlivých úseků, cílovou teplotou každého úseku a požadovaným časem, za který má cílovou teplotu v peci dosáhnout. Tyto parametry jsou uvedeny v detailním technologickém předpisu, který má obsluha pece k dispozici. Jsou v něm popsány postupy provádění tepelného zpracování žíhané vsázky používané na výrobní lince. V případě potřeby je tento předpis technologem upraven, nebo doplněn o další technologické programy [13].

Ověření proběhne dle předem známých technologických programů. Navíc bude přidán program (eventuálně programy), který pokryje časové a průběhové limity.

Časové a průběhové limity zadaných technologických programů jsou omezeny určitými aspekty.

Omezující hlediska:

- | | |
|---|----------|
| - maximální teplota vsázky | 900 °C |
| - maximální rychlost ohřevu vsázky | 225 °C/h |
| - tolerance rozložení teploty v peci při 400 - 950 °C | +/-15 °C |

Z hlediska omezení rychlosti ohřevu vsázky vyplývá, že v technologických programech nebude použito skokové změny teploty v peci.

Pokud během tepelného zpracovávání vsázky vznikne teplotní odchylka větší než 15 °C (v rozsahu 400 - 950 °C), musí být tepelné zpracování přerušeno a opakováno. Technologický program lze zapnout, pokud je aktuální teplota v peci menší než 200 °C [13].

5.2 Ověření funkčnosti regulace teploty

Aby bylo docíleno kvalitního zpracování vsázky, je potřeba dodržet tepelnou žíhací křivku pro daný druh materiálu. Na správném provedení technologického zpracování závisí doba využití vsázky ve výrobních strojích. Toho lze docílit, pokud je celá regulovaná soustava správně seřízena.

Vytápění pece pokaždé neprobíhá při konstantních podmínkách. Tudíž regulace teploty v peci a dodržení dovolené tolerance technologických programů je negativně ovlivněno určitými faktory.

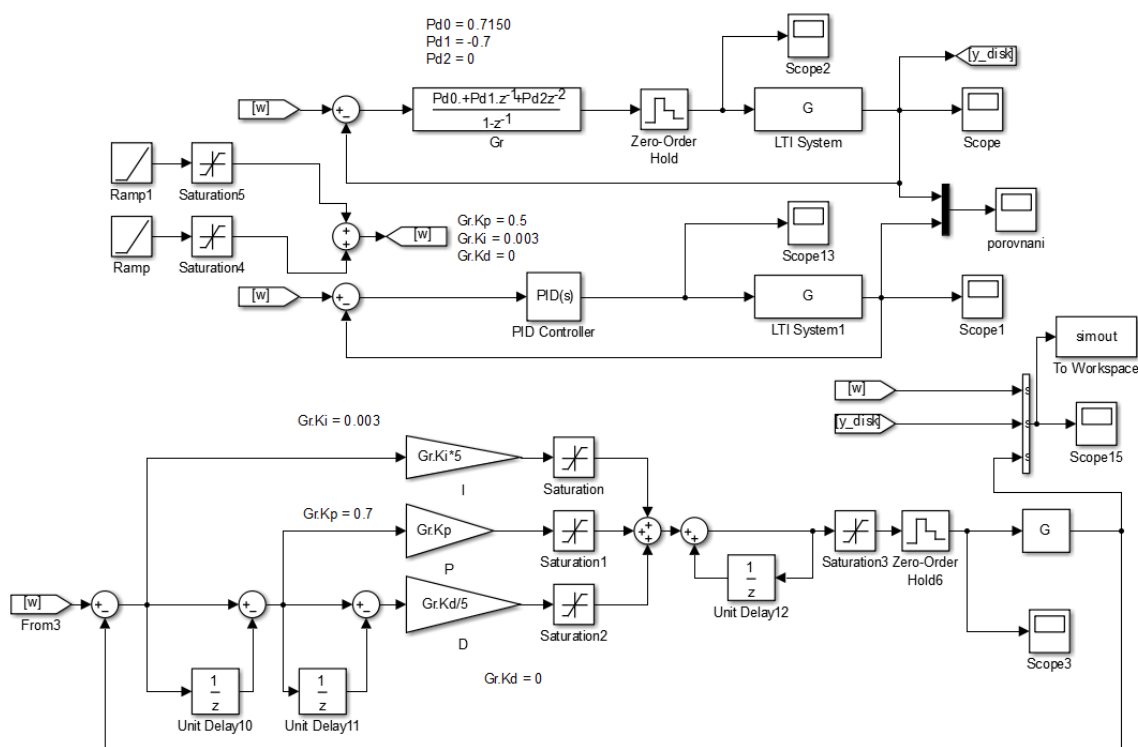
Jedná se zejména o vlivy:

- nekonstantní výhřevnost topného koksového plynu (navíc není měřena)
- množství zpracovávané vsázky
- možné zanášení akčních prvků nečistotami topného plynu (provádí se pravidelná údržba)

Vypočítané parametry KP, KI a KD, které se vložily do regulátoru, ovšem v reálném provozování vedly k tomu, že teplota v peci byla rozkmitaná.

Z měřené přechodové charakteristiky vyplynulo, že se jedná o nelineární soustavu, zesílení soustavy je závislé na počtu zapnutých hořáků. Nelze tedy navrhnout parametry regulátoru pro celé pracovní teplotní pole v peci. Bude použito seřízení regulátoru metodou „pokus a omyl“ [1].

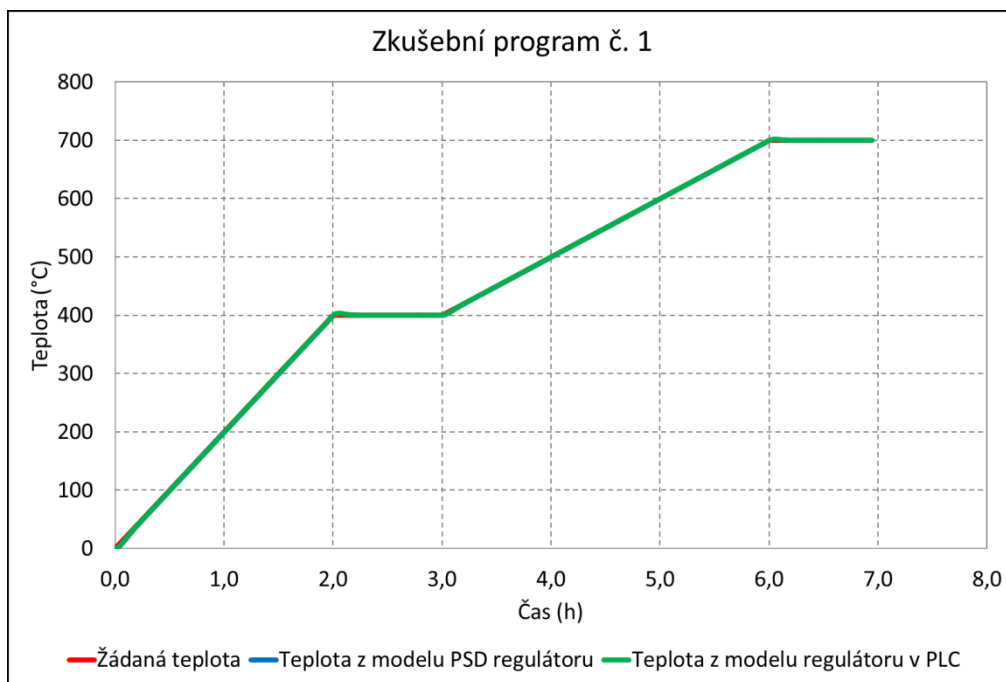
Pro efektivnější navržení konstant dle této metody budou navíc vloženy do modelu regulátoru vytvořeného v programu Matlab – Simulink. Tento model regulátoru se shoduje s regulátorem, který je realizován v řídicí aplikaci. Pro vzájemné porovnání budou v Simulinku taktéž vytvořeny modely PID a PSD regulátoru. Z navržených konstant bude proveden přepočít koeficientů pro PSD regulátor.



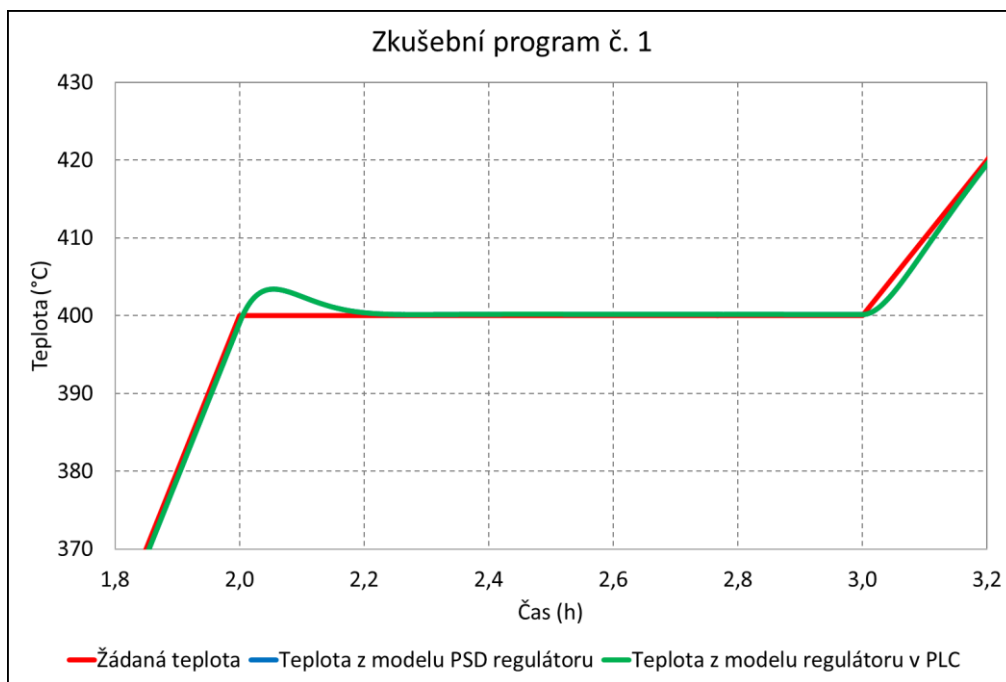
Obr. 5.1 Model regulátorů v Simulinku

5.2.1 Zkušební program č. 1

V modelu bude simulován zkušební program, kdy nejprve probíhá ohřev vsázky po dobu 2 hodin na teplotu 400 °C. Tato teplota je udržována po dobu 1 hodiny, následuje ohřev po dobu 3 hodiny na teplotu 700 °C a zůstane na této teplotě opět po dobu 1 hodiny.



Obr. 5.2 Průběhy porovnávaných simulovaných regulátorů v Simulinku



Obr. 5.3 Detail průběhů porovnávaných simulovaných regulátorů v Simulinku

Z výsledných simulovaných průběhů je patrné, že křivky porovnávaných modelů regulátoru v Simulinku jsou totožné. Tedy je ověřeno, že navržený a realizovaný regulátor v řídicí aplikaci pracuje správně.

V modelu byly použity následující konstanty:

$$K_P = K_p = 0,7$$

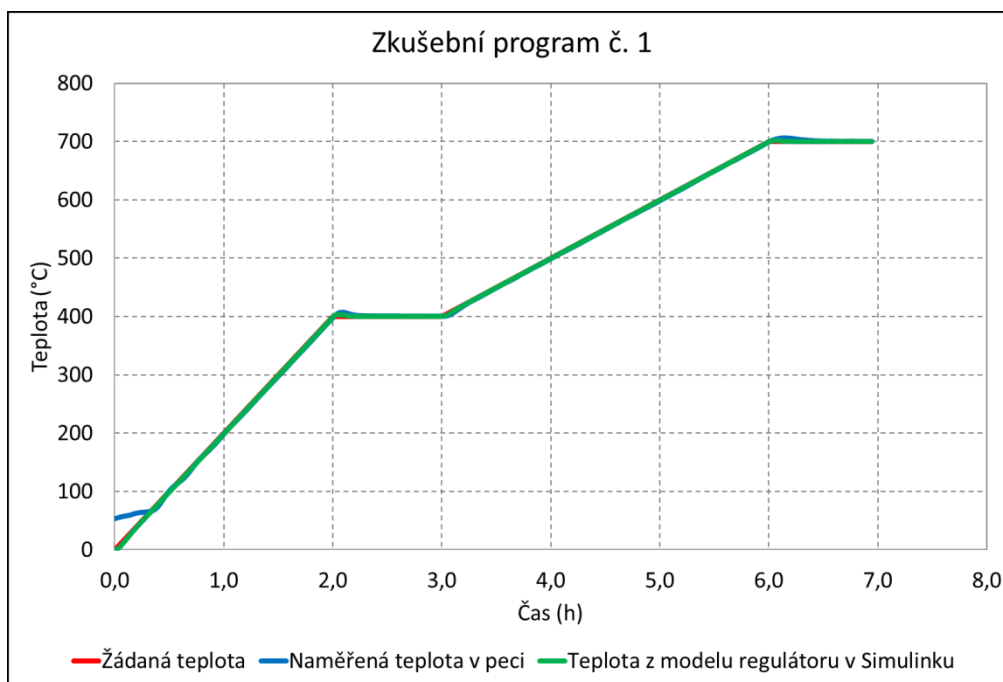
$$K_I = K_i = 0,003$$

$$K_D = K_d = 0$$

$$T_s = 5 \text{ s}$$

Tyto navržené a modelem ověřené parametry jsou tedy určeny i pro regulátor, který obsahuje řídicí aplikace.

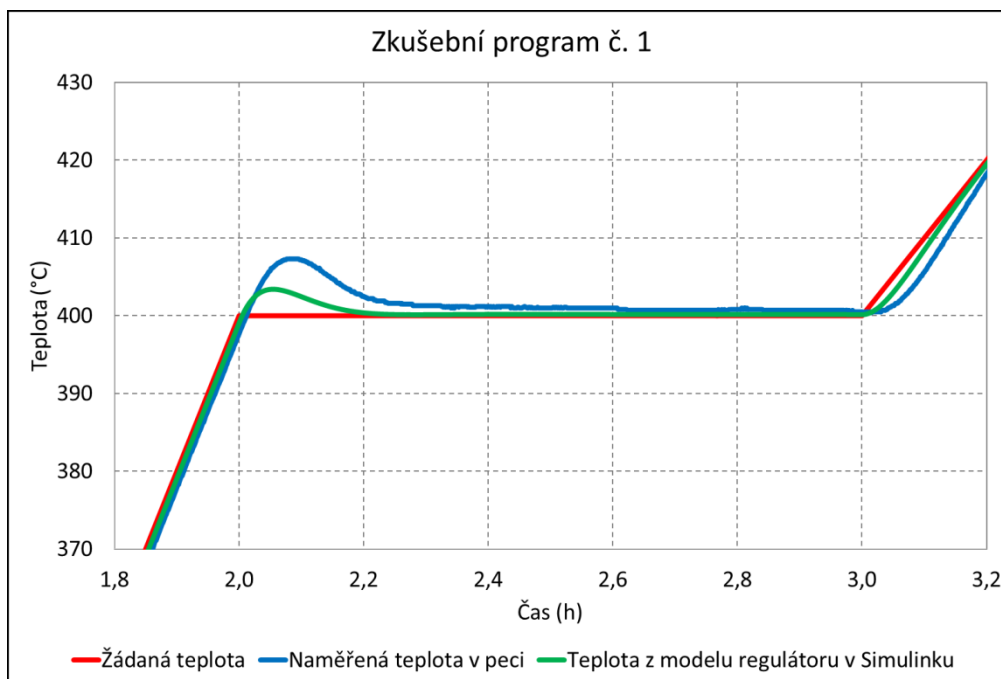
Nyní zbývá tyto parametry vložit do regulátoru v řídicí aplikaci, umístit do pece patřičné množství vsázky, spustit stejný technologický program, který byl modelován v Simulinku a porovnat naměřený průběh teploty v peci s charakteristikou simulovaného regulátoru.



Obr. 5.4 Porovnání průběhů regulátoru v PLC a Simulinku

Z těchto charakteristik je zřejmé, že naměřená teplota v peci má téměř úplně shodný průběh jako program simulovaný v modelu regulátoru Simulinku.

Detail průběhů charakteristik porovnávaných regulátorů je zobrazen na Obr. 5.5



Obr. 5.5 Detail porovnání průběhů regulátoru v PLC a Simulinku

Z detailu porovnání naměřené a simulované charakteristiky je patrné, že odezva na překmit a poté ustálení na cílové hodnotě je jen nepatrně odlišné.

To může být způsobeno zejména z důvodů:

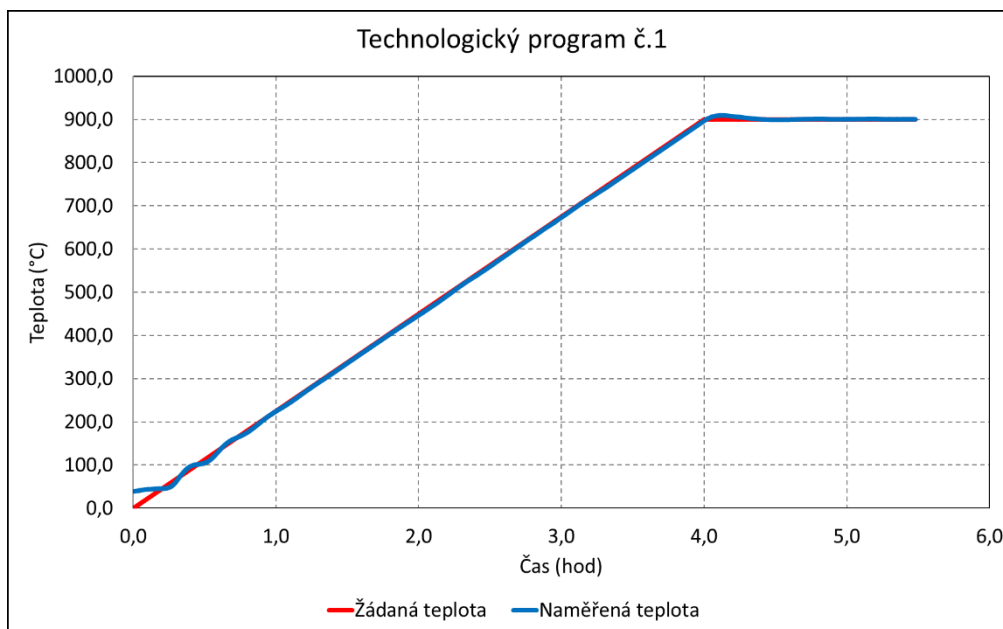
- odhad modelu z přechodové charakteristiky (realizovaný při současném zapnutí dvou hořáků) v programu Matlab - Ident se přece jen úplně neshoduje (93 %), takže navržený přenos soustavy nemusí být úplně přesný
- soustava je nelineární, výsledný přenos soustavy a zesílení je závislé na počtu zapnutých hořáků
- větší množství zpracovávané vsázky, než bylo při měření přechodové charakteristiky (z toho vyplývá větší setrvačnost soustavy)
- možnost odlišné výhřevnosti plynu

Největší odchylka 7,2 °C byla naměřena při překmitu nastavené teploty 400 °C, což s dostatečnou rezervou splňuje zadanou toleranci +/- 15 °C.

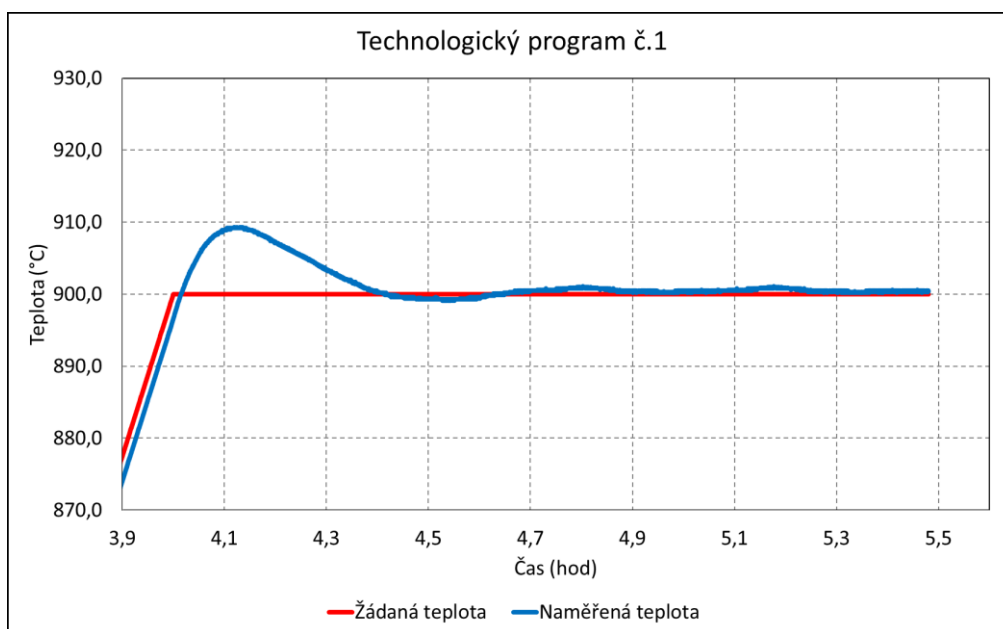
Nyní bude provedena ještě další kontrolní zkouška zkušebních a technologických programů.

5.2.2 Technologický program č. 1

Nejprve probíhá ohřev vsázky po dobu 4 hodin na teplotu 900 °C. Tato teplota je udržována po dobu 1,5 hodiny. Tím je cyklus tepelného zpracování ukončen. Pec se odstaví a vsázka se z pece vyjme.



Obr. 5.6 Zkouška technologického programu č.1

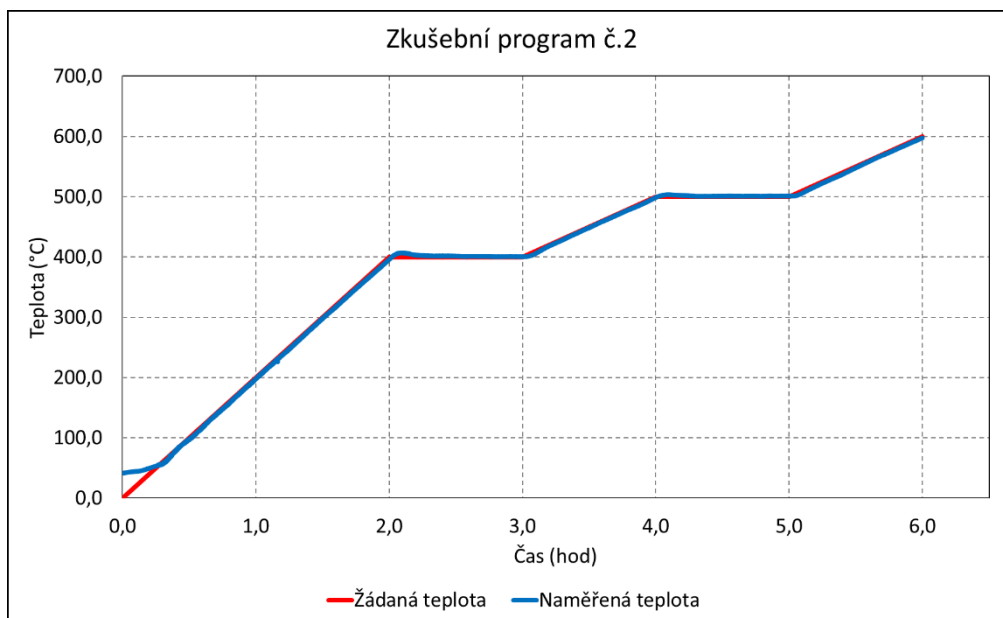


Obr. 5.7 Detail zkoušky technologického programu č.1

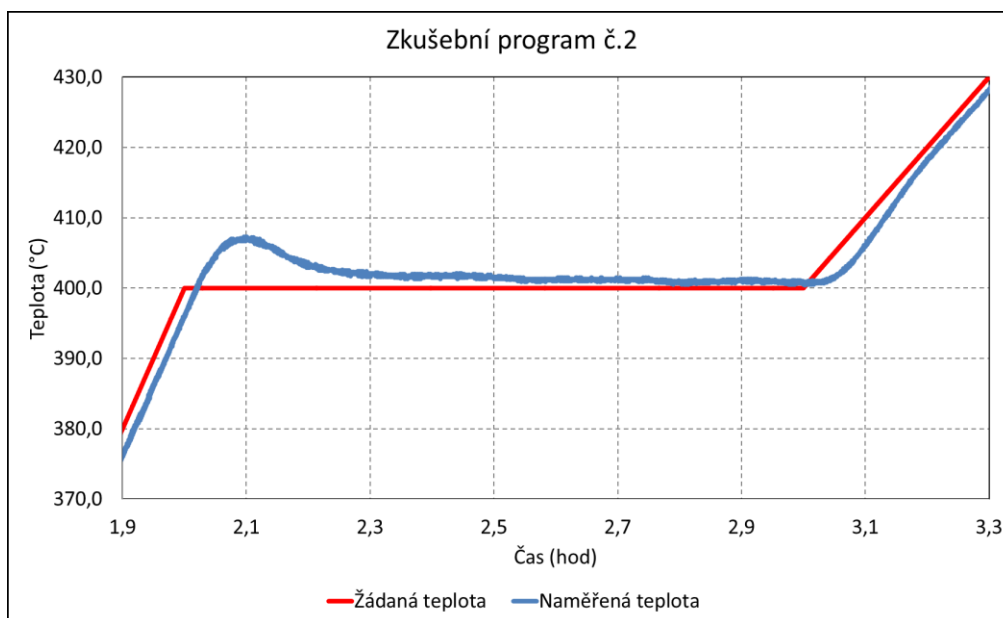
Jak je patrné z průběhu křivky, nejvyšší teplotní odchylka 9,2 °C byla naměřena při překmitu nastavené teploty 900 °C, což splňuje dovolenou toleranci ± 15 °C.

5.2.3 Zkušební program č. 2

Nejprve probíhá ohřev vsázky po dobu 2 hodin na teplotu 400 °C. Tato teplota je udržována po dobu 1 hodiny, následuje ohřev po dobu 1 hodiny na teplotu 500 °C a zůstane na této teplotě opět po dobu 1 hodiny. Poté je provedeno zvýšení teploty na 600 °C, kterou má dosáhnout za jednu hodinu.



Obr. 5.8 Zkušební program č.2

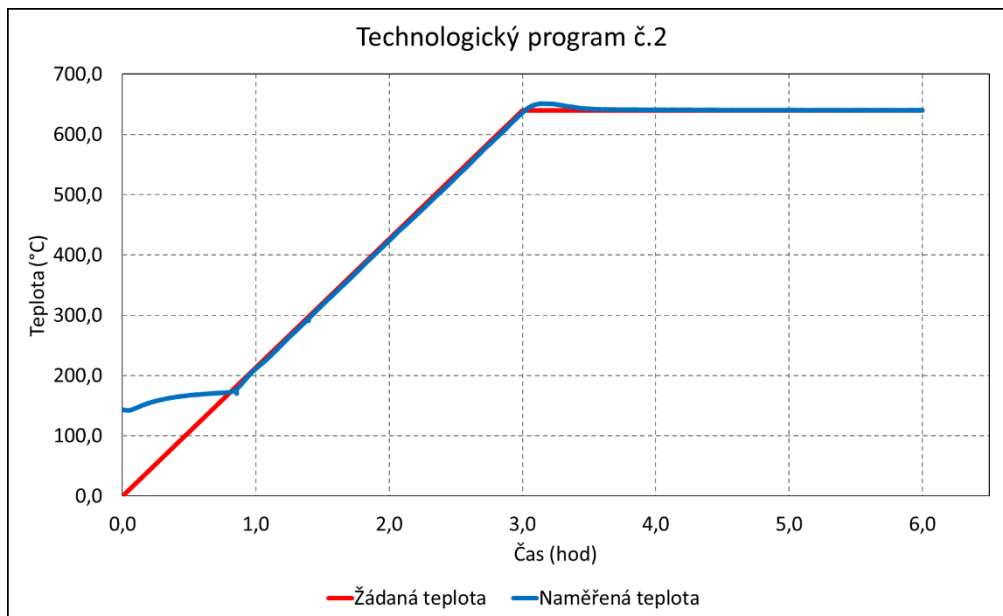


Obr. 5.9 Detail zkušebního programu č.2

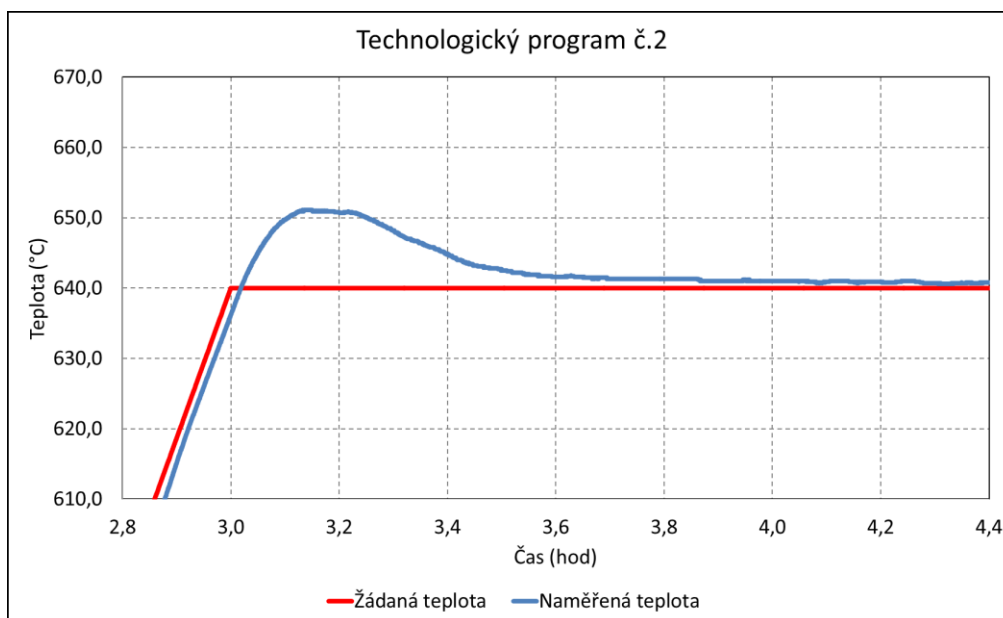
Program je zvolen jako referenční, pro názornost a zkoušku možných dalších různých teplotních křivek. Je zde využit maximální počet úseků a zároveň obsahuje více zlomů v křivce. Program splňuje povolenou přesnost ± 15 °C i přesto, že byla úmyslně vypnuta filtrace měřené teploty v peci, jak je patrné z Obr. 5.9. Největší odchylka 6,8 °C byla naměřena při překmitu nastavené teploty 400 °C.

5.2.4 Technologický program č. 2

Nejprve probíhá ohřev vsázky po dobu 3 hodin na teplotu 640 °C. Tato teplota je udržována po dobu 3 hodin. Tím je cyklus tepelného zpracování ukončen. Pec se odstaví a vsázka se z pece vyjme.



Obr. 5.10 Zkouška technologického programu č. 2



Obr. 5.11 Detail zkoušky technologického programu č. 2

Jak je patrné z průběhu křivky, nejvyšší teplotní odchylka 10,9 °C byla naměřena při překmitu nastavené teploty 640 °C, což splňuje dovolenou toleranci ± 15 °C. Při zkoušce tohoto programu, bylo do pece vloženo maximální možné množství vsázky. Proto zřejmě zde byla naměřena největší odchylka ze všech zkoušených programů. Další možný důvod je, že tento program byl spuštěn těsně po neúplném vychladnutí pece a ukončení předchozího programu.

Zkouškou výše uvedených programů byla úspěšně ověřena funkčnost regulace teploty v peci. Zároveň byly odzkoušeny všechny omezující hlediska technologických programů, tedy maximální teplota vsázky a maximální rychlost ohřevu vsázky.

Naměřené charakteristiky všech zkoušených programů splnily zadanou přesnost s požadovanou tolerancí.

Na *Obr. 5.12* je zobrazen zpracovaný materiál v peci po ukončení tepelného zpracování.



Obr. 5.12 Náhled na zpracovanou vsázku v peci

Konkrétně se jedná o zpracovanou vsázku po dokončení technologického programu č. 1. Zpracovaný materiál se poté vyjme z pece a po vychladnutí je připraven k použití.

6 Zhodnocení výsledků řešení práce

Cílem bakalářské práce je návrh a realizace řízení vytápění žíhací vozové pece pomocí programovatelného automatu. Žíhací vozová pec s řízeným ohřevem je určena k tepelnému zpracování žíhané vsázky. Tato vsázka se používá jako nářadí pro výrobní stroje provozní linky.

Jedná se o pec komorového provedení, teplota je měřena jedním snímačem teploty a vytápění je uskutečněno pomocí 6 vysokorychlostních hořáků. Po seznámení se s technologií a aktuálním stavem jsem provedl funkční analýzu řízené soustavy, které bude později použito k výpočtům stavitelných parametrů realizovaného regulátoru. Dle použitého vybavení a způsobu ovládání dané technologie pramení požadavky, které musí konstrukce nového systému splňovat. Podle těchto podmínek jsem uskutečnil výběr potřebných prvků, přístrojů a nového řídicího systému. Před instalací se musely provést patřičné úpravy (strojní, elektro), aby nový systém mohl být implementován. Následně jsem vypracoval návrh kompletní řídicí aplikace. Celou jsem ji rozdělil do oddělených funkčních bloků, které budou vykonávat jednotlivé funkce a operace. Chod řídicí aplikace je patrný dle stavového diagramu funkční struktury zobrazeného na *Obr. 4.1*. Pomocí tohoto návrhu jsem vytvořil řídicí aplikaci ve vývojovém prostředí od firmy Rockwell Automation. Z dříve uskutečněné funkční analýzy jsem vypočítal stavitelné parametry regulátoru. S výběrem ostatních potřebných proměnných jsem přihlédl k parametrům nainstalované technologie a použitých ovládacích prvků. Po dokončení realizace řídicí aplikace následovalo ověření funkčnosti řídicí aplikace. Bohužel tyto parametry vykazovaly kmitání teploty v peci, tak jsem přistoupil k jiné metodě seřízení regulátoru a navržené parametry ověřil v programu Simulink. Poté byla do pece vkládána vsázka a začalo samotné ověřování regulace teploty v peci dle zvolených technologických programů.

Hlavním přínosem bakalářské práce je tedy uvedení žíhací vozové pece do plného provozního stavu a umožnění kvalitní zpracování žíhané vsázky. Je nutno podotknout, že celá bakalářská práce je ovlivněna požadavky provozovatele na co nejmenší náklady a nejrychlejší realizaci. Podle toho byl také uskutečněn návrh a samotná realizace. Dle naměřených charakteristik technologických a zkušebních programů dosažené výsledky splnily zadanou přesnost s požadovanou tolerancí. Ta byla splněna i na začátcích charakteristik, kdy ještě není požadována taková přesnost. Z konstrukce a ovládání použitých hořáku je přitom patrné, že nelze docílit úplně plynulý nájezd teplotní křivky. Je to hlavně z důvodu požadavku minimální doby hoření jednotlivých hořáků.

Při návrhu na další vylepšení stavu žíhací pece bych se určitě zmínil o kompletní výměně zařízení pro měření, ovládání a regulaci, včetně doplnění vizualizace. Určitě bych doporučil použití „smart“ snímačů a převodníků, které umožňují přehledné využití a zpracování naměřených veličin. Dále bych také navrhnul vybavit hořáky novými řídicími bezpečnostními automatikami, které mají již v sobě implementované standartní komunikační rozhraní.

Teplotu v peci bych doporučil měřit ve více místech a podle možností doplnit měření teploty samotné žíhané vsázky. Použít se zde může například vlečný plášťový termočlánek, který se při obsazování pece vloží do připravené vsázky. Další možností je bezdotykové měření teploty pyrometrem. Musely by se ovšem provést patřičné stavební úpravy.

Také bych přidal měření výhřevnosti topného koksového plynu a naměřené hodnoty použil v řídicí aplikaci pro doplnění nové regulace, popřípadě upravil stávající. V případě nekvalitního složení stávajícího koksového plynu je možné riziko nesplnění požadované přesnosti, pokud by se žádaná teplota technologického programu blížila maximální dovolené teplotě v peci. Ovšem nabízí se možnost výměny topného koksového plynu za plyn zemní. Při využití zemního plynu (z důvodu stálosti jeho parametrů) by bylo určitě dosaženo rovnoměrnějšího rozložení tepla v peci. To by ovšem obnášelo rozsáhlejší strojní úpravy, tedy výměnu potrubí, všech ventilů, filtrů, regulačních akčních prvků a samotných hořáků. Zde již je potřeba přihlédnout, zda se použijí hořáky klasické, rekuperační, regenerační, či jiné. Pokud by se pec provozovala s klasickými hořáky (i stávajícími), tak bych doporučil posoudit možnost přidání rekuperátoru, který znamená využití teploty spalin pro ohřev spalovacího vzduchu. Toto vylepšení je ovšem potřeba zvážit z hlediska účinnosti rekuperátoru podle teplotního pracovního bodu v peci – tedy zda se nasazení rekuperátoru opravdu vyplatí. Pokud by budoucí technologické programy požadovaly chlazení i uvnitř pece, zvážil bych opravu a rekonstrukci nevhodně navržených chladících trysek

Zpracovávaná vsázka není před vložením do pece přesně zvážena, obsluha dle svých zkušeností a potřeb provozu vloží požadované množství materiálu. Vsázku obsluha umístí na vůz pece pomocí jeřábu a poté z ovládacího panelu provede zajetí vozu a uzavření vrat pece. Určitě by tohle šlo zautomatizovat, i včetně toho, aby po dokončení zpracování žíhané vsázky vůz automaticky vyjel z pece a v případě potřeby začalo automatické dochlazování venku před pecí pomocí stlačeného vzduchu.

Seznam použité a studované literatury

- [1] ŠULC, Bohumil a Miluše VÍTEČKOVÁ. *Teorie a praxe návrhu regulačních obvodů*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, 333 s. ISBN 80-01-03007-5.
- [2] NOSKIEVIČ, Petr. *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava: Montanex, 1999, iv, ii, 276 s. ISBN 80-7225-030-2.
- [3] BALÁTEĚ, Jaroslav. *Automatické řízení*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003, 663 s. ISBN 80-7300-020-2.
- [4] KALANI, Ghodrat. *Industrial process control: advances and applications*. Boston: Butterworth-Heinemann, 2002, xiii, 182 p. 0-7506-7446-6.
- [5] MÜLLER, Jürgen, Frank NEUMANN a Bernd PFEIFFER. [i]Controlling with SIMATIC: practice book for SIMATIC S7 and SIMATIC PCS7 control systems. [/i]Erlangen: Publicis, c2005, 162 s. ISBN 3-89578-255-6.
- [6] KAMEL, Khaled a Eman KAMEL. *Programmable logic controllers: industrial control*. New York: McGraw-Hill Education, 2014, x, 419 pages . ISBN 978-0-07-181045-6.
- [7] Webové stránky Měřící přístroje - Jaroslav Rzepka – MERCOS [online]. ©2015 [cit. 2015-12-13]. Dostupné z: <http://www.mercos.cz/>
- [8] Webové stránky Allen-Bradley [online]. ©2015 [cit. 2015-12-13]. Dostupné z: <http://ab.rockwellautomation.com/>
- [9] Webové stránky Číslicová regulace – katedra 352, VŠB - TUO [online]. ©2015 [cit. 2016-2-13]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/cislicovaregulace/data/kapitola1.html>
- [10] Webové stránky Číslicová regulace – katedra 352, VŠB - TUO [online]. ©2015 [cit. 2016-2-16]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/cislicovaregulace/data/kapitola4.html>
- [11] Webové stránky Katalog součástek - TESLA [online]. ©2015 [cit. 2016-2-16]. Dostupné z: <http://teslakatalog.cz/download/otocene-cislicove-spinace-ts-211-xxxx-ts-215-xxxx.pdf>
- [12] Webové stránky Přehled produktů - Schneider Electric Česká republika [online]. ©2015 [cit. 2016-2-16]. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.com/products/cz/cs/>
- [13] Interní zdroj strojírenského podniku [online]. ©2015 [cit. 2016-2-16].
- [14] Webové stránky ZPA Nová Paka, a.s. [online]. ©2015 [cit. 2016-2-16]. Dostupné z: <http://www.zpanp.cz/>

Seznam příloh

Příloha na CD

Obsah CD:

1. Řídicí aplikace PLC zdrojový kód

Soubor: Vozova_pec_PLC.rss

2. Výpis řídicí aplikace PLC v elektronické podobě

Soubor: Vozova pec výpis programu PLC.pdf

3. Bakalářská práce v elektronické podobě

Soubor:

SPI017_FEI_B2649_2612R041_2016_BP_Modernizace_řidiciho_systemu_vozove_pece.pdf